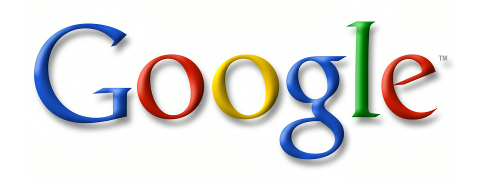
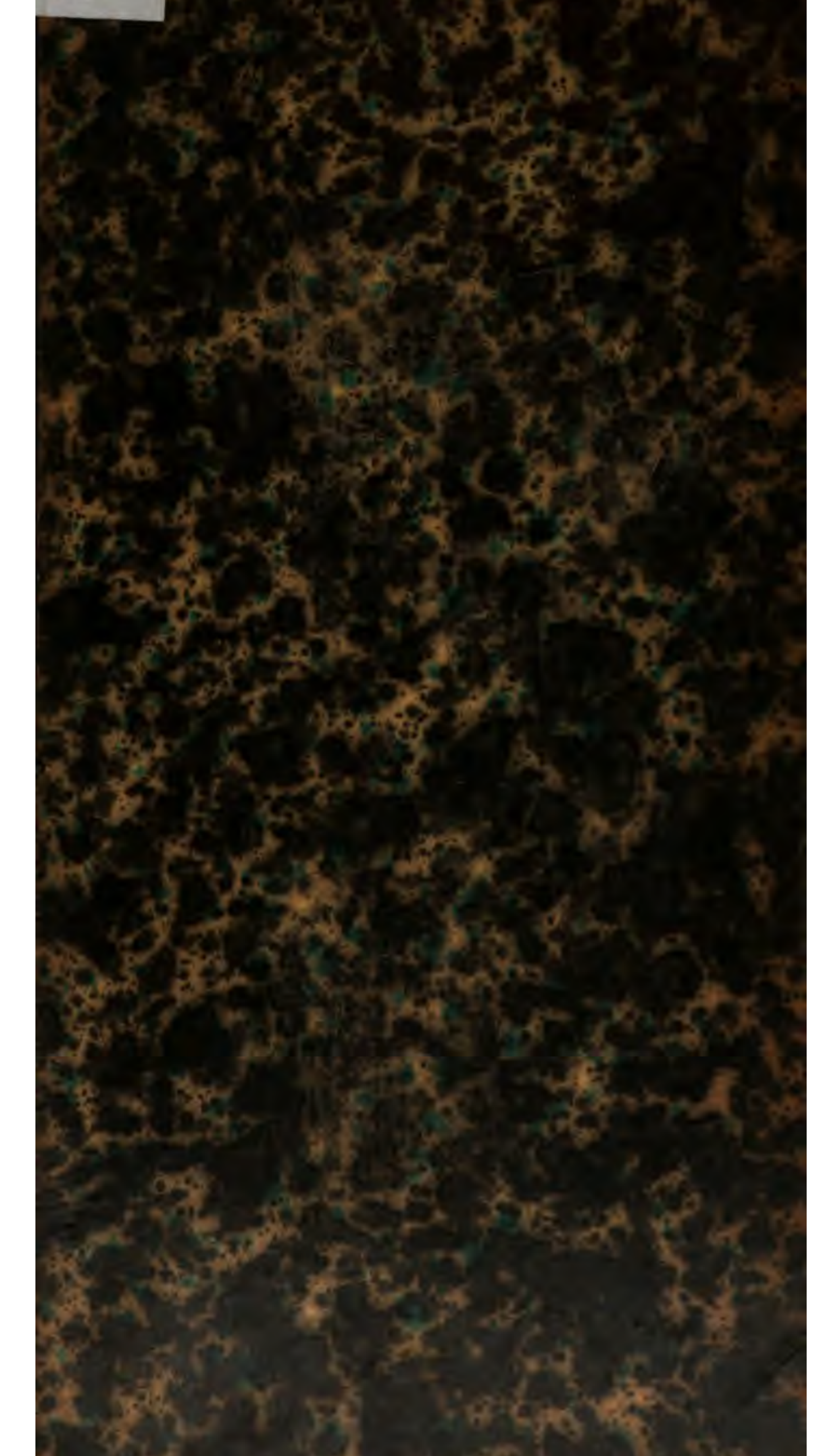
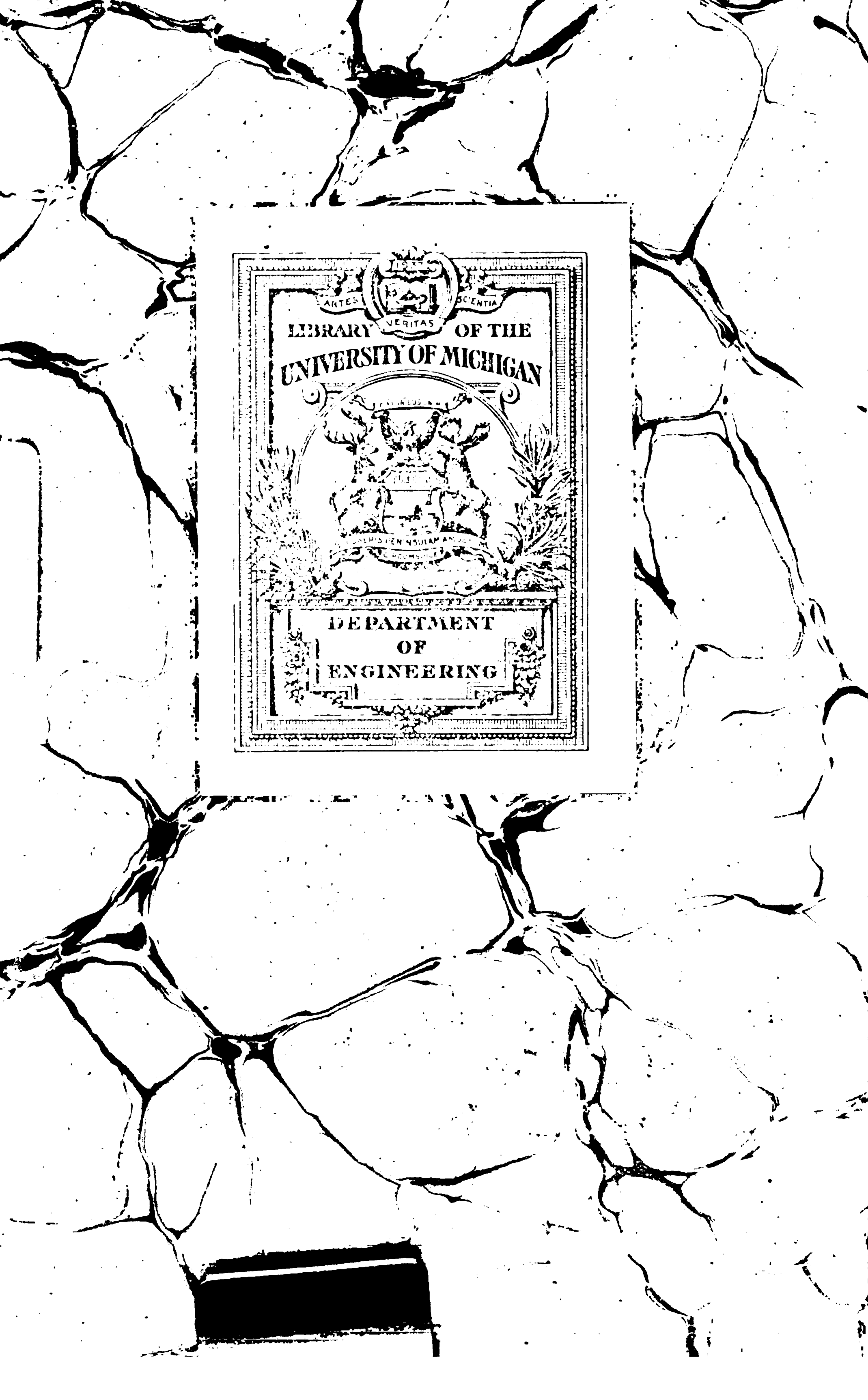





ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



# SOCIÉTÉ

DES

# INGÉNIEURS CIVILS

## DE FRANCE

**ANNÉE 1905**

---

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

# MÉMOIRES

ET

# COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

# SOCIÉTÉ

DES

# INGÉNIEURS CIVILS

## DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

---

**ANNÉE 1905**

PREMIER VOLUME

---

PARIS

HOTEL DE LA SOCIÉTÉ

19, RUE BLANCHE, 19

—

1905

# MÉMOIRES

ET

# COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

# BULLETIN

DE

JANVIER 1905

N° 1


## OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de janvier 1905, la Société a reçu les ouvrages suivants :

### Agriculture.

*Gouvernement général de l'Algérie. Commission d'Études forestières. Compte rendu des séances et Rapport de la Commission* (in-4°, 275 × 220 de 208 p.). Alger, J. Torrent, 1904 (Don du Gouvernement général de l'Algérie). 43627

### Chemins de fer et Tramways.

COLOMBO (G.), GARNIR (L.) et PONTZEN (E.). — *Percement des Alpes Bernoises.* Réponse de MM. G. Colombo, L. Garnir et E. Pontzen au Questionnaire qui leur a été adressé. Janvier 1904 et août 1904 (in-4°, 315 × 320 de 80-12 p.). Berne, Ott et Bolliger, 1904 (Don de M. E. Pontzen, M. de la S.). 43654

HERVIEU (J.) et BIENVENÜE (F.). — *Le chemin de fer métropolitain municipal de Paris.* Description du réseau général. Lignes en exploitation. Types des ouvrages. Usines et sous-stations électriques. Résultats de l'exploitation des lignes en service. Publié avec l'approbation de M. le Préfet de la Seine, par Jules Hervieu ; précédé d'une Préface par F. Bienvenüe (in-8°, 255 × 165 de VIII-258 p. avec 19 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1903. 43670

*Report of the Proceedings of the Thirty-second Annual Convention of the American Railway Master Mecanics' Association, held at Old Point Comford, V. A. June 19, 20 and 21, 1899* (in-8°, 225 × 150 de 315 p. avec pl.). Chicago, Henry O. Shepard Company, 1899. 43647

*Report of the Proceedings of the Thirty-fourth Annual Convention of the American Railway Master Mecanics' Association, held at Saratoga, N. Y., June 19, 20 and 21, 1901* (in-8°, 225 × 150 de 392 p. avec pl.). Chicago, Henry O. Shepard Company, 1901. 43648

*Report of the Proceedings of the Thirty-fifth Annual Convention of the American Railway Master Mecanics' Association, held at Saratoga, N. Y., June 23, 24 and 25, 1902* (in-8°, 225 × 150 de 453 p. avec pl.). Chicago, Henry O. Shepard Company, 1902. 43649

*Report of the Proceedings of the Thirty-sixth Annual Convention of the American Railway Master Mecanics' Association held at Saratoga. N. Y. June 24, 25 and 26, 1903* (in-8°, 225 × 150 de 457 p. avec pl.). Chicago, Henry O. Shepard Company, 1903. 43650

*Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1902. Documents divers: Première partie. Intérêt général. France, Algérie et Tunisie* (Ministère des Travaux publics. Direction des chemins de fer) (in-4°, 315 × 240 de VI-404 p.). Melun, Imprimerie administrative, 1904 (Don du Ministère des Travaux publics). 43635

*Tenth Annual Report of the Boston Transit Commission for the year ending. June, 30, 1904* (in-8°, 235 × 145 de 107 p. avec 22 pl.). Boston, E.-W. Doyle, 1904. 43641

## Construction des machines.

Franche (G.). — *Procédé et machines au jet de sable*, par Georges Franche (Extrait de la Revue de Mécanique, année 1904) (in-4°, 320 × 225 de 85 p. avec 71 fig.). Paris, V[ve] Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43631

Sartiaux (E.), et Zetter (Ch.). — *Note sur le projet tendant à l'unification des petites vis d'un diamètre inférieur à six millimètres. Unification des filetages*, par MM. E. Sartiaux et Ch. Zetter (Extrait du Bulletin de Septembre 1904 de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale) (in-4°, 275 × 220 de 21 p.). Paris, Philippe Renouard, 1904 (Don de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale). 43652

## Éclairage.

Robine (R.). — *Guide de l'acétyléniste. Manuel pratique de l'éclairage au gaz acétylène*, par R. Robine (in-8°, 220 × 130 de 284 p. avec 63 fig.). Paris, Ch. Béranger, 1905 (Don de l'éditeur). 43657

## Économie politique et sociale.

*Annuaire général des Sociétés françaises par actions (cotées et non cotées) et des principales Sociétés étrangères. 1902* (in-8°, 275 × 185 de 1 868 p. à 2 col.). Paris, Lajeune Vilar et C[ie]. 43637

*Annuaire statistique. Vingt-troisième annee, 1903* (République Française. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Direction du Travail. Statistique générale de la France) (in-8°, 265 × 175 de XXXIX-432-159 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1904 (Don du Ministère du Commerce). 43634

*Annuaire statistique de la ville de Paris. XXIII^e^ année 1902* (République Française. Préfecture de la Seine. Direction des Affaires Municipales. Service de la Statistique Municipale. M. le D^r^ Jacques Bertillon, chef des travaux de la statistique) (in-8°, 260 × 175 de XXXII-863 p.). Paris, Masson et C^ie^, 1904 (Don de M. le Préfet de la Seine). 43643

Hanrez (P.). — *Sénat de Belgique. Nos finances et nos impôts.* Discours prononcés par M. Prosper Hanrez. Séances des 21 et 23 décembre 1904, d'après les Annales parlementaires (in-8°, 220 × 140 de 48 p.). Bruxelles, F. Vanbuggenhoudt, 1905 (Don de l'auteur, M. de la S.). 43660

*Tableau général du commerce et de la navigation. Année 1903. Premier volume. Commerce de la France avec ses Colonies et les Puissances étrangères.* (République Française. Direction générale des Douanes) (in-4°, 365 × 275 de 120-812 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1904. 43629

## Électricité.

Claude (G.). — *L'électricité à la portée de tout le monde.* (Courant continu, Courants variables, Courants alternatifs simples et polyphasés. Le radium et les nouvelles radiations.) Cinquième édition, revue, corrigée, complétée et augmentée d'un supplément sur le radium et les nouvelles radiations, par Georges Claude. 22^e^ mille (in-8°, 255 × 165 de 479 p. avec 232 fig.). Paris, V^ve^ Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43638

Graffigny (H. de). — *L'électricité pour tous.* Ouvrage inédit et rédigé d'après un plan nouveau, par Henry de Graffigny (in-8°, 255 × 165 de VI-323 p. avec 275 gravures) (Bibliothèque professionnelle de l'Industrie). Paris, E. Bernard, 1905 (Don de l'éditeur). 43630

## Enseignement.

*Université libre de Bruxelles. 70^e^ année académique. Rapport de l'année académique 1903-1904* (in-8°, 235 × 135 de 114 p.). Bruxelles, Bruylant-Christophe et C^ie^, 1904.

## Législation.

*American Institute of Mining Engineers. Officers, Members, Rules, etc. November 1, 1904* (in-8°, 230 × 145 de 151 p.). 43655

### Métallurgie et Mines.

BOUSQUET (J.-G.). — *Musée rétrospectif de la classe 63. Exploitation de mines, minières et carrières (Matériel, procédés, et produits) à l'Exposition universelle internationale de 1900, à Paris. Rapport du Comité d'installation,* Rapporteur M. J.-G. Bousquet (in-8°, 293 × 195 de 100 p. avec illustrations). Saint-Cloud, Belin frères (Don de l'auteur, M. de la S.). 43659

*The Mineral Industry during 1903.* Founded by the late Richard P. Rothwell. Prepared by Editorial Staff of the Engineering and Mining Journal. The work on this volume has been more particularly under the supervision of Mr D. N. Newland. *Volume XII* (in-8°, 240-155 de XII-574 p.). New-York and London, The Engineering and Mining Journal 1904. 43642

*Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1903.* (Ministère des Travaux publics. Direction des Routes, de la Navigation et des Mines. Division des Mines) (in-4°, 310 × 230 de XII-193 p. avec 3 tableaux). Paris, Imprimerie nationale, 1904 (Don du Ministère des Travaux publics). 43658

*Transactions of the American Institute of Mining Engineers. Vol. XXXIV. Containing the Papers and Discussion of 1903* (in-8°, 245 × 155 de LXXX-1 029 p. avec illust.). New York City, Published by the Institute, 1904. 43620

### Navigation aérienne, intérieure et maritime.

BORDÉ (P.) et FONVIELLE (W. DE). — *Le Congrès d'aérostation scientifique de 1904 (29 août-5 septembre),* par M. l'Ingénieur Paul Bordé. Ouvrage accompagné de 15 vues photographiques prises par l'auteur pendant son séjour en Russie, précédé de l'histoire des précédents Congrès, par M. W. de Fontvielle (in-8°, 235 × 160 de 84 p.) (Académie Impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg). Paris 1905 (Don de M. P. Bordé, M. de la S.). 43653

FAUCHER (H.). — *La question de la boëtte à Terre-Neuve. L'arrangement franco-anglais du 8 avril 1904. Entrepôts frigorifiques pour la boëtte,* par Henry Faucher (Extrait du Journal La Glace et les Industries du Froid. Novembre 1904) (in-8°, 215 × 135 de 30 p.). Paris, E. Bernard, 1905 (Don de l'auteur, M. de la S.). 43644

MAS (F.-B. DE). — *Cours de navigation intérieure de l'École Nationale des Ponts et Chaussées. Canaux,* par F.-B. de Mas. Section transversale. Tracés. Ouvrages à la rencontre des voies de communication par terre. Ouvrages à la traversée des cours d'eau. Ascenseurs et plans inclinés. Consommation d'eau des canaux. Alimentation des canaux. Réservoirs. Exploitation. (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M. C. Lechalas) (in-8°, 250 × 165 de XIV-579 p. avec 89 fig. et 101 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1904 (Don de l'éditeur et de l'auteur). 43633

TIMONOVE (V.-E.). — *Osnovy Ouloutchcheniya Ouslavii soudokhodslva na bolichikhe riekakhe ve irimiénenii ke sovremennième potrebnostyame Rossii* vo V.-E. Timonove (in-8°, 250 × 160 de 359 p. avec 70 fig. et 3 tabl.). Saint-Pétersbourg, 1903 (Don de l'auteur, M. de la S.). 43621

**Routes.**

*Nivellement général de la France.* Répertoire des emplacements et altitudes des repères. Réseau de troisième ordre et première partie du réseau de quatrième ordre. Lignes comprises dans la zone B de premier ordre. Lignes comprises dans le polygone G de premier ordre. Lignes comprises dans le polygone H de premier ordre. Premier fascicule. Mailles $H^a$; $H^b$ et $H^c$ de deuxième ordre; Deuxième fascicule. Mailles $H^d$, $H^e$ et $H^f$ de deuxième ordre; Lignes comprises dans le polygone H' de premier ordre. Premier fascicule. Mailles $H'^a$, et $H'^b$ de deuxième ordre (Ministère des travaux publics) (5 brochures in-8°, 265 × 180). Nantes, M. Schwob et Cie, 1904 (Don de M. Ch. Lallemand). 43663 à 43667

*Nivellement général de la France.* Répertoire indiquant les emplacements et altitudes des repères. Réseau de deuxième ordre. Lignes comprises dans le polygone Z de premier ordre (Ministère des Travaux publics) (in-8°. 265 × 180 de 44 p.). Nantes, Imprimerie du Commerce, 1901 (Don de M. Ch. Lallemand). 43668

**Sciences mathématiques.**

OCAGNE (M. D'). — *Le calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques.* Histoire et description sommaire des instruments et machines à calculer, tables, abaques et monogrammes, par Maurice d'Ocagne. Seconde édition entièrement refondue et considérablement augmentée (Bibliothèque générale des sciences) (in-8°, 220 × 135 de VIII-228 p. avec 73 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1905 (Don de M. R. Soreau, M. de la S., de la part de l'auteur). 43651

**Sciences Morales. — Divers.**

LACROIX (P. DE). — *J. Vallot et son œuvre*, par Paul de Lacroix (Extrait de la Revue illustrée, 19e année, n° 14. 1er Juillet 1904) (in-4°, 325 × 245 de 18 p. avec illust.). Paris, H.-L. Motti, 1904 (Don de M. J. Vallot, M. de la S.). 43636

LEMOSOF (P.). — *Bulletin de la Société de Géographie. Tables des matières. Séries V à VII. 1861-1899*, par Paul Lemosof (in-8°, 225 × 140 de VIII-236 p.). Paris, Société de Géographie. 43625

**Technologie générale.**

*Almanach Hachette. Petite Encyclopédie populaire de la vie pratique. Édition simple pour 1905* (in-16, 195 × 120 de 432-LVIII p.). Paris, Hachette et Cie. 43624

*Bibliothèque nationale. Département des Imprimés. Liste des Périodiques étrangers. Nouvelle édition. Supplément* (in-8°, 245 × 160 de 38 p.). Paris, C. Klincksieck, 1902. 43626

*Canadian Society of Civil Engineers. Index of Transactions. Vols. I-XIV* (in-8°, 220 × 150 de 11 p.). 43656

*Exposition universelle et internationale de Saint-Louis (États-Unis) en 1904. Liste des Récompenses décernées par le Jury international* (in-f°, 415 × 395 de 35 p.). Paris, L'Exposition de Saint-Louis, 16 décembre, 112, Rue de Richelieu, 1904. 43628

FRANCHE (G.). — *Manuel de l'Ouvrier Mécanicien. Huitième partie. Hydraulique. Roues. Turbines. Pompes*, par Georges Franche (in-16, 175 × 125 de 156 p. avec fig. 802 à 872 (Bibliothèque des Actualités industrielles. — N° 101). Paris. Bernard Tignol (Don de l'éditeur). 43623

*Index to Engineering News for the years 1890 to 1899 inclusive*, Compiled by Mary E. Miller (in-8°, 225 × 145 de 324 p. New-York, The Engineering News Publishing C°, 1900 (Don de Engineering News). 43661

*Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Subject-Index. Vols. CLV-CLVIII. Session 1903-1904* (in-8°, 215 × 135 de 22 p.). London, Williams Clowes and Sons. 43640

*Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, with other selected and abstracted Papers. Vol. CLVIII. 1903-04. Part. IV.* (in-8°, 220 × 140 de VII-504 p. avec 13 pl.). London, Published by the Institution, 1904. 43639

RAZOUS (P.). — *Les déchets industriels. Récupération. Utilisation*, par Paul Razous (in-8°, 255 × 165 de 379 p. avec 101 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43669

**Travaux publics.**

*Annales des Ponts et Chaussées. 1re partie. Mémoires et documents. 74e année. 8e série. Tome XV. 1904. 3e trimestre* (in-8°, 255 × 165 de 305 p. avec pl. 11 à 19). Paris, E. Bernard. 43645

*Annuaire d'adresses des Fonctionnaires du Ministère des Travaux publics, des Chemins de fer, de la Navigation, des Mines, de l'Industrie et des Banques*, par MM. Lemoine, Marande et Moreau. 1905 (in-12, 180 × 110 de 420 p.). Paris, au Bureau des Huissiers du Cabinet du Ministre. 43632

*Comité de conservation des Monuments de l'art arabe. Exercice 1903. Fascicule vingtième. Procès-verbaux des séances. Rapports de la Section technique suivis d'un appendice (avec 6 planches)*, par M. Max Herz Bey (in-8°, 245 × 155 de 135 p. avec 6 phot.). Le Caire, Imprimerie de l'Institut français d'archéologie orientale, 1903. 43646

*Compagnie générale des Conduites d'eau. Liège, Belgique, Société anonyme. Hygiène. Exposition internationale, Paris 1904 (Grand Palais des Champs Élysées). Filtration en grand des eaux d'alimentation* (in-8°, 245 × 160 de 4 p., 7 p., 10 p.). Liège, H. Poncelet, 1904 (Don de M. H. Doat, M. de la S.). 43622

# MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois de janvier 1905, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

| | | |
|---|---|---|
| L. Barthélemy, | présenté par MM. | Canet, Bel, Levat. |
| H.-M. Bertrand, | — | Berthouart, Chapron, Teisset. |
| A.-Ch. Boissière, | — | Baclé, Bel, Boudenoot. |
| G.-L.-J. Borde Frétigny, | — | E. Duchesne, P. Germain, A. Mallet. |
| E.-A.-Ch. Cannone, | — | Couriot, Ducloud, Minuit. |
| A.-H. Danicourt, | — | Couriot, Albertini, G. Beliard. |
| G.-C.-A. Echenoz, | — | Pettit, Cottarel, Maubras. |
| G.-A.-L. Goubeau, | — | Couriot, Etchevary, Rigot. |
| J.-F.-J. Philbert, | — | Moreau, Eyrolles, Galotti. |
| J.-Ch. Quantin. | — | Lebargy, Rouy, Vuillaume. |
| G.-H.-Ch. Roux, | — | Dumont, d'Anthonay, A. Domange. |

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

| | | |
|---|---|---|
| G.-J.-B. Brégéras, | présenté par MM. | P. Buquet, Hegelbacher, Forgue. |
| E. Fricero, | — | Couriot, Lautmann, Dufresne. |
| R.-C.-P. Henry, | — | Lemol, Pornin, Sinson Saint-Albin. |

Comme Membre Associé, M. :

Ch. Klein, présenté par MM. Beauvalet, P. Cornier, Dufresne.

# RÉSUMÉ
## DES
# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES
## DU MOIS DE JANVIER 1905

---

## PROCÈS-VERBAL
### DE LA
## SÉANCE DU 6 JANVIER 1905

### I

PRÉSIDENCE DE M. H. COURIOT, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

M. H. COURIOT, Président sortant, prononce le discours suivant :

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Au moment où prend fin le mandat dont vous m'avez fait l'insigne honneur de m'investir, mon premier devoir doit être, conformément aux traditions constantes de notre Société, de vous rendre compte de nos travaux et de la marche de notre Institution, au cours de l'année qui vient de prendre fin.

Ainsi que vous pourrez le constater, notre œuvre a été féconde, grâce au concours de tous, grâce surtout aux nombreux travaux présentés en séances par nos Collègues.

En ce qui concerne notre recrutement, il est assez satisfaisant eu égard à la crise industrielle qui pèse sur un grand nombre d'entreprises; les admissions nouvelles se sont totalisées par 175 Membres en 1904; les radiations pour décès, démissions, etc., ont été de 126; le nombre de nos Membres s'est ainsi accru de 49 pendant le dernier exercice et s'élève de la sorte à 3 690.

Il y a cependant un trop grand nombre d'Ingénieurs qui ne se font pas recevoir dans notre Société et qui auraient tout intérêt à y entrer, à participer à ses travaux et à ses études, à prendre part enfin aux discussions si importantes qui se produisent dans nos séances. Les Ingénieurs ne doivent pas rester en dehors du mouvement scientifique dont nous sommes le centre et qui a pour conséquence une évolution inces-

sante de l'industrie vers le progrès ; ils doivent se tenir constamment au courant de tous les problèmes se traitant dans notre Société qui est, en quelque sorte, le complément nécessaire, sur le terrain de la pratique industrielle, des études qui forment l'Ingénieur.

Notre nécrologie a été particulièrement chargée : quatre-vingts décès sont venus successivement jeter le deuil parmi nous et frapper cruellement les familles de nos Collègues. Je dois en cette circonstance envoyer un souvenir ému aux Membres de la Société que nous avons perdus pendant l'exercice en rappelant ici leurs noms :

MM. Th.-N. Michaëlis, J. Carel, H. Delsa, J.-A. Maire, E. Moreau, M. Pelegry, A. de Tscharner, E. Bougenaux, E. Buxtorf, L.-E. Dumas, L. Koch, H. Zschokke, E. Sadoine, E. Stein, L. Adour, S. Colle, Th. Villard, A. Arson, P.-J. Delage, G. Vulliet-Durand, P.-E. Ory, J.-J. Garnier, J.-C.-J. Lecherf, J.-P.-A. Léger, L.-G. Louisse, J. Le Cœur, E.-J. Lesueur, A. Pierre, Ch. Roux, G. Carré, L. Decléty, A. L'Hermite, E. Godfernaux, F. Pottier, L. Dru, Ch. Chancerel, L.-H. Bonnard, J.-M.-A. Chambrelent, J.-P.-E. Martinez, J.-A.-V. Robin, C. Thurillet, J. Berthier, G. Duprat, H. Darras, B. Dulau, G. Petitjean, E. Baudet, P. Biju-Duval, L. Billaudot, P. Boreyscha, J.-B. Clamens pére. F. Coüard, F. Denize, E. Féraud, J. Gayda, H. Letaud, Ch. Lorilleux, Th. Mason, Ch. Peltier, L. Petit, W. Post, A. Robert, L. Rouvière, X. Rousse, A. Séguin, M. Sijmons, H. Siméon, Ch.-H. Straw, L. Thibault. A. Détrois, R. Gross, V. Langlois, E. Philippon, J.-E. Henry, G. Gondolo, R. Kiener, F.-A. Blanche, G. Bouscaren, P. Laligant.

Vous vous souvenez également que notre ancien et regretté Président, M. Hildevert Hersent, a été frappé dans les derniers jours de l'année 1903 et que le premier devoir de la fonction du Président de 1904 a été la pénible mission de dire un dernier adieu à l'homme de bien et d'action que la Société perdait, de retracer les étapes de sa belle carrière et d'exprimer, au nom de tous les Membres de la Société, le regret profond et le vide immense que laissait le décès de l'Ingénieur éminent qui a occupé une place distinguée à sa tête.

Nos Bulletins contiennent des nécrologies de plusieurs de nos Collègues et, au cours de chacune de nos séances, nous n'avons pas manqué, chaque fois que cela a été possible, de relater les services rendus à la science et à l'industrie par les Collègues disparus ; je ne puis, en cette occasion, qu'adresser à leurs familles l'expression renouvelée de la bien vive sympathie et des douloureuses condoléances de la Société tout entière à l'occasion de pertes qui ont été ressenties cruellement parmi nous.

Notre Société, qui occupe une si grande place dans le développement industriel de notre pays, a eu le plaisir de voir un grand nombre de ses Membres obtenir, du Gouvernement français et des Nations étrangères, des distinctions très flatteuses, qui montrent combien sont appréciés de tous côtés les services rendus par nos Collègues.

C'est ainsi que nous avons salué avec fierté la promotion, au grade de Grand Officier de la Légion d'Honneur, de notre éminent Collègue M. Doniol, élevé en outre à la dignité de Membre du Conseil de l'Ordre.

A cette haute distinction doivent s'ajouter :

3 promotions au grade d'Officier, 15 au grade de Chevalier de la Légion d'honneur, 13 nominations d'Officiers de l'Instruction publique, 35 Palmes académiques, 1 promotion au titre d'Officier du Mérite agricole et 11 croix de Chevaliers du Mérite Agricole.

Enfin 23 Ordres étrangers ont été conférés à nos Collègues au cours de l'année.

Ces distinctions font ressortir hautement le rôle et l'influence considérables de la Société dans le monde entier, rôle dû à l'action de ses Membres répandus à la surface du globe contribuant à accroître la prospérité industrielle des peuples et occupant ainsi une place prépondérante dans le mouvement intellectuel et scientifique.

Nos félicitations doivent s'adresser non seulement à eux, mais aussi à de nombreux Collègues appelés, par les Pouvoirs publics, au cours de l'année, à siéger dans les Conseils, Comités ou Commissions fonctionnant dans les Ministères.

Je dois une mention toute particulière à trois de nos Collègues proclamés Lauréats de l'Académie des Sciences au cours de cette année, en rappelant que, d'une part, le prix Montyon (Mécanique) a été décerné au Président de 1903, M. P. Bodin, et que le prix Gaston Planté (Physique) a été attribué à M. Hospitalier à la fin de l'année dernière, qu'enfin, dans sa dernière séance publique, l'Académie des Sciences a accordé le prix Montyon de mécanique) à notre distingué Collègue M. G. Richard, Président de notre troisième Section pour l'ensemble de ses travaux sur la mécanique *(Applaudissements.)*

J'adresse ici aux titulaires de ces hautes récompenses toutes nos félicitations et je les exprime de nouveau aux Lauréats de notre Société : M. Henri Bénard, qui a remporté le Prix annuel de 1904 pour son mémoire : *les Phares du sud de la mer Rouge et leur installation;* M. Léon Guillet, Lauréat du prix Michel Alcan, pour ses travaux sur *la Métallographie microscopique et son utilisation comme méthode d'essai*, et MM. R.-V. Picou et E. Hospitalier auxquels a été décerné *ex æquo* le Prix François Coignet, le premier pour son mémoire sur *la Régulation des moteurs appliqués à la commande des machines dynamo-électriques*, et le second pour ses études sur *l'Observation et l'enregistrement des phénomènes périodiquement et rapidement variables*.

N'oublions pas enfin que notre Société a ajouté un nouveau Grand Prix de plus à ceux qu'elle avait remportés dans les Expositions antérieures, le Jury supérieur de l'Exposition de Saint-Louis venant de lui attribuer sa plus haute récompense, un Grand Prix, qui confirme l'estime et la considération dans lesquelles sont tenus nos travaux à l'étranger.

Notre marche financière a été satisfaisante si on l'examine dans ses grandes lignes.

En effet, grâce à la générosité de notre ancien Président, M. G. Canet. qui nous a fait une fondation de 36 000 f pour la distribution de deux prix sexennaux; grâce à la libéralité de la famille de notre ancien Président, M. H. Hersent, qui nous a également constitué un fonds de

20 000 f pour la fondation d'un prix triennal et, grâce enfin à l'encaissement que nous avons obtenu du legs Hunebelle se montant à 30 000 f, nous nous sommes trouvés en présence d'une augmentation exceptionnelle d'actif atteignant au total 86 000 f, somme à laquelle s'est ajouté l'accroissement résultant du jeu de nos Recettes et Dépenses de l'année écoulée, représentant 12 000 f environ; il en résulte que l'exercice qui a pris fin a vu notre Avoir s'accroître de près de 100 000 f.

Nos remerciements doivent être renouvelés à l'adresse de tous ces généreux bienfaiteurs auxquels s'ajoutent les noms de MM. Bollaert, Couriot, Grosdidier, Hillairet, Hospitalier, Picou et Mme veuve Monchot.

Notre fonds de secours a été, en outre, doté cette année d'une ressource exceptionnelle de 3 500 francs, due à la fête de bienfaisance que nous avons organisée dans l'hôtel de la Société, avec le concours sympathique de plusieurs de nos Collègues, fête qui a obtenu un grand succès par suite de la gracieuse intervention de quelques dames, auxquelles il convient d'exprimer toute notre sincère et profonde gratitude.

Dans une année de malaise des affaires comme celle qui vient de s'écouler, notre fonds de secours nous a permis de venir en aide à de plus nombreuses détresses et à de pénibles infortunes.

Un nouvel élément de recettes va résulter pour nous de l'ouverture à la publicité de nos comptes rendus bi-mensuels, c'est cette ressource financière supplémentaire, qui s'accroîtra encore certainement dans l'avenir, qui nous a permis, sans bourse délier, de vous envoyer nos procès-verbaux cousus et rognés, enchemisés enfin dans une couverture protectrice dont la première page est affectée à notre usage exclusif et réservée à nos ordres du jour et aux avis destinés à nos Collègues.

Dans votre séance du 7 octobre, vous avez approuvé les règlements des Prix G. Canet et H. Hersent, en vertu desquels nous pourrons, dans l'avenir, récompenser de plus nombreux mémoires; l'importance et la valeur des travaux de nos Collègues sont considérables, et nous ne disposons pas toujours d'assez de prix pour pouvoir reconnaitre, comme il le faudrait, le mérite incontestable des mémoires présentés à notre Société.

Vous avez pu constater, en lisant nos Bulletins, que notre œuvre scientifique ne s'est pas ralentie durant l'année 1904; cet exercice est le premier dans lequel ont fonctionné nos nouveaux statuts qui ont permis à nos Collègues de province et de l'étranger, grâce au mode d'élection par correspondance, de participer, d'une façon plus directe et plus étendue, à notre vie sociale.

Le fonctionnement par sections a eu pour conséquence de grouper de nombreux spécialistes dans chacune d'elles et doit avoir pour effet d'amener ultérieurement des communications ayant trait à toutes les branches de notre activité industrielle.

Néanmoins, toutes les sections n'ont pas, dès la première année, produit des résultats aussi notables les unes que les autres. C'est ainsi que, si nous relevons le nombre des communications qui ont été examinées dans chacune des sections, on constate que dans la première (Travaux publics et privés) il a été présenté ou examiné 5 communications, dans

la seconde (Industrie des transports) 2, dans la troisième (Mécanique et ses applications) 11, dans la quatrième (Mines et métallurgie) 14, dans la cinquième (Physique et chimie industrielles) 11, et dans la sixième (Industries électriques) 2.

Tous les mémoires qui nous ont été adressés directement au siège social ont été renvoyés à l'étude des sections au même titre que ceux qui ont été recherchés par ces dernières.

Espérons que les sections très importantes et qui renferment des spécialistes distingués, dont les communications ont été les moins nombreuses, provoqueront à leur tour des travaux et des études dont profitera avec avantage la collectivité.

Au point de vue de l'organisation matérielle de nos services administratifs, il est résulté une certaine complication du jeu et du fonctionnement des sections et un certain ralentissement dans la marche sociale dus au renvoi des mémoires à l'étude des sections et au retour devant le Bureau, pour acceptation définitive, des différents travaux présentés; mais on peut espérer néanmoins que les études particulières faites dans les sections ou canalisées par elles, examinées enfin par les spécialistes autorisés qui les composent, permettront d'arriver à une sélection très profitable à tous parmi les communications présentées à la Société.

Je rappelle seulement ici pour mémoire, en les classant par sections, les titres des diverses communications qui ont été faites en séances ou des mémoires qui nous ont été remis au cours de l'année par de nombreux Collègues.

## Ire SECTION

### Travaux publics et privés.

M. Dibos, *Considérations sur les scaphandres.*

M. Dibos, *De la recherche et du dragage des torpilles vigilantes.*

M. H.-E. Jeanin, *Drague à bras et à transporteurs de déblais, pour le creusement des petits canaux.*

M. L. Coiseau, *Les Ports et le Canal maritime de Bruges.*

M. G. Hersent, *République Argentine. Son développement commercial et agricole. Ses chemins de fer. — Buenos-Aires. Son port. — Rosario. Etude de ce dernier.*

## IIe SECTION

### Industrie des transports.

M. A. Tellier fils, *Note sur les canots automobiles à grande vitesse.* Observations de MM. E. Duchesne, Daymard et G. Hart.

M. G. Forestier, *La lutte contre la poussière et le goudronnage des routes.* Observations de M. P. Mallet.

## IIIe SECTION

### Mécanique et ses applications.

M. R. Berard, *Electro-aimants industriels à longue course et à efforts variables.* Observations de MM. H. Couriot et A. Guénée.

M. A. Brancher, *Machine à sténographier Lafaurie*. Observations de M. Loeschnigg.

M. E. Duchesne, *Étude sur les générateurs marins à tubes d'eau et à grande production*. Observations de MM. H. Bernard, E. Barbet, L. de Chasseloup-Laubat, Lencauchez, E. Duchesne.

M. A. de Gennes, *La traction pneumatique. Traction par locomotive à air comprimé dans les mines des États-Unis*. Observations de M. Mékarski.

M. G. Hart, *Les turbines à vapeur*. Observations de M. G. Richard.

M. Jean Rey, *La turbine à vapeur du système Rateau et ses applications*.

M. K. Sosnowski, *Pompe centrifuge à haute pression, système de Laval*.

M. C. Birault. *Flexion des parois dans les tuyaux de conduites de grand diamètre*. Observations de M. P. Bodin.

M. G. Charpy, *Sur l'essai des métaux par flexion de barreaux entaillés*.

M. L. Joubert, *Les tubes sans soudure*. Observations de MM. L. Guillet et A. Lencauchez.

M. L. Ribourt, *La régulation des turbines hydrauliques*.

## IVe SECTION

### Mines et Métallurgie.

M. J.-G. Bousquet, *Les richesses minérales des Indes orientales néerlandaises*.

M. L. Guillet, *La cémentation des aciers au carbone et des aciers spéciaux*.

M. L. Guillet, *Propriétés, classification et utilisation des aciers spéciaux ternaires*. Observations de M. H. Le Chatelier.

M. Paul Habets, *Le bassin houiller du nord de la Belgique*. Observations de MM. L. Boudenoot, L. Thomas, Machavoine.

M. L. Vojacek, *Note sur un gisement de minerais en Bohême*.

M. H. Couriot, *Excursion organisée par la Société des Ingénieurs Civils de France dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais et à l'Exposition d'Arras, du 9 au 12 juin 1904*.

M. M. Boutté, *Visite de la Société des Ingénieurs Civils de France aux Mines d'Anzin, le 9 juin 1904*.

M. E. Suisse, *Notice sur la Compagnie des Mines de houille de Marles (Pas-de-Calais). Visite du 10 juin 1904*.

M. J.-M. Bel, *Visite de la Société des Ingénieurs Civils de France aux Mines de Bruay (Pas-de-Calais), le 10 juin 1904*.

M. P. Portier, *Visite de la Société des Ingénieurs Civils de France aux Mines de Lens (Pas-de-Calais), le 11 juin 1904*.

M. J.-M. Bel, *Voyage minier au Nord-Ouest canadien*.

M. L. Georgeot, *Perfectionnement dans la fabrication des tôles galvanisées. Abaissement des prix de revient. Étude et critique des procédés usités*.

M. E. Glasser, *Mission minérale en Nouvelle-Calédonie*. Observations de M. Colomer et lettre de M. J.-M. Bel.

M. le Docteur Guglielminetti, *Le casque respiratoire Guglielminetti-Draeger*.

## V[e] SECTION

### Physique et Chimie industrielles et Divers.

M. J. Bergeron, *Alimentation de Paris en eau potable, d'après les travaux de perfectionnement de l'Observatoire de Montsouris*. Observations de MM. E. Chardon, P. Vincey, Lévy-Salvador.

M. H. Claudel, *Le carburateur Claudel, précédé d'une théorie générale sur la carburation*. Observations de MM. J. Deschamps, L. de Chasseloup-Laubat, F. Bourdil, L. Letombe, P. Regnard, Jean Rey, H. Claudel.

M. A. Lencauchez, *Étude sur la production de la vapeur*.

M. Édouard Simon, *Le bien-être ouvrier aux États-Unis*.

M. L. Sekutowicz, *Lettre sur les recherches sur la transmission de la chaleur dans les appareils d'évaporation à multiple effet*.

M. G. Arachequesne, *L'entrée de la synthèse chimique dans le domaine industriel*. Observations de MM. L. Guillet, Cahen Strauss et Ferré.

M. Ed. Candlot, *Les progrès de l'industrie du ciment*. Observations de M. J. Deschamps.

M. E. Balliman, *Arrêté du Conseil d'Etat relatif à l'évaluation de la valeur locative d'un immeuble industriel en vue de l'établissement de la patente*. Observations de M. A. Gouault et de M. H. Couriot.

M. E. Hospitalier, *L'unification du langage et des notations techniques*. Lettre de M. A. Bouvier.

M. M. Armengaud, *Compte rendu du voyage aux États-Unis et à l'Exposition de Saint-Louis*. Observations de M. L. Rey.

M. E. Cacheux, *Les habitations à bon marché*.

## VI[e] SECTION

### Industries électriques.

M. A. Neyret, *Note sur la régulation des groupes électrogènes*.

M. R. Picou, *Réponse à la note sur la régulation des groupes électrogènes*, de M. A. Neyret.

101 Bibliographies ont paru dans nos bulletins signalant des ouvrages offerts en dons par les auteurs et éditeurs à notre Bibliothèque; nos bulletins ont en outre renfermé, comme dans les années précédentes, de nombreuses chroniques et des comptes rendus, dus à la plume autorisée de notre Collègue M. A. Mallet, qui a su dans ces travaux nous tenir constamment au courant de toutes les questions inscrites à l'ordre du jour de la Science et de l'Industrie. Je tiens à saisir cette occasion pour féliciter personnellement M. A. Mallet, de la distinction qui vient de lui être conférée, si bien méritée par l'encyclopédiste qu'il est et dont nous apprécions tous les travaux à leur valeur, en vous disant que notre savant collaborateur vient d'être promu au grade d'officier de la Légion d'honneur le 1[er] janvier. *(Applaudissements.)*

Notre action au dehors a consisté dans une visite au Salon de l'Automobile et dans un voyage, officieusement organisé à l'Exposition de Saint-Louis et étendu à l'ensemble des Etats-Unis; un nombre relativement important de nos Collègues y a pris part et il a été réservé à nos représentants, au cours de cette excursion, un accueil des plus larges et des plus hospitaliers, dû en grande partie à la considération exceptionnelle dont sont entourés nos Membres Correspondants en Amérique. Nous formulons ici, une fois de plus, à leur adresse, l'expression de notre reconnaissance.

Vous avez tous encore présente à l'esprit la grandiose réception qui a été faite à notre Société dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, il me paraît superflu de vous en entretenir une fois de plus, nos bulletins s'étant faits l'écho de la splendeur de l'hospitalité que nous avons reçue des diverses Compagnies minières dont nous avons visité les remarquables installations.

Qu'il me soit seulement permis de réunir dans un même sentiment de gratitude les noms de M. Casimir Périer, Président de la Régie d'Auzin, de M. François, Directeur général de la même Compagnie, de notre Collègue M. le Comte Armand, Administrateur Délégué de la Compagnie des Mines de Marles, de M. Marmottan, Président de la Compagnie des Mines de Bruay, et notre Collègue M. Reumaux, récemment élu membre du Comité pour 1905, Directeur général des Mines de Lens, dont nous avons reçu un accueil si touchant, si hospitalier, si large, et auxquels nous sommes redevables de journées inoubliables et de visites fructueuses et intéressantes à de multiples points de vue. *(Applaudissements.)*

En résumé, Messieurs, l'année 1904 a été, vous le voyez, bien remplie, tant au point de vue de notre activité interne qu'au point de vue de notre expansion extérieure.

Les excellents résultats obtenus sont la conséquence de vos efforts et des coopérations nombreuses que j'ai rencontrées partout autour de moi, tant dans la Société qu'au Comité et au Bureau; laissez-moi vous en remercier tous personnellement du fond du cœur et associer à ma gratitude notre Secrétaire administratif pour l'utile et dévoué concours qu'il a donné à ma Présidence. Vous avez pu constater que notre Société continue à se développer sans cesse et que, grâce à l'activité de ses Membres, elle étend, chaque jour, son action féconde et émancipatrice en assurant d'une façon continue la marche en avant du progrès scientifique et industriel. *(Vifs applaudissements.)*

Son œuvre se poursuivra d'ailleurs, j'en ai confiance, dans des conditions non moins satisfaisantes au cours de l'année 1905 et, en effet (se tournant vers M. L. Coiseau, nouveau Président) :

MON CHER COLLÈGUE,

C'est à vous que j'ai à remettre maintenant la charge que j'ai assumée pendant l'année écoulée, fardeau que mieux qu'aucun autre vous êtes préparé à porter facilement.

Vous personnifiez ici, plus que personne, l'esprit d'initiative, de persévérance dans l'action, de travail sans relâche, qui est la caractéristique de l'Ingénieur civil.

Vous vous êtes formé et armé vous-même pour le combat de la vie industrielle, vous vous êtes préparé à la lutte redoutable de la belle et difficile carrière qui est la nôtre en vous plaçant sur son véritable terrain, celui de la pratique et des applications de la science aux besoins de l'Industrie. Dans ce milieu, où le théoricien pur reste impuissant, vous vous êtes révélé un maître et par votre savoir, votre énergie, votre volonté, vous vous êtes élevé à la première place.

Vous avez eu la bonne fortune, à vos débuts dans la carrière, de vous trouver le collaborateur d'Ingénieurs éminents, tels Lavalley et Couvreux, pendant l'exécution du Canal de Suez ; tels Castor, Couvreux et Hersent, au cours des beaux travaux de régularisation du Danube et du port d'Anvers dont vous avez eu la direction.

Puis, à partir de cette époque, vous avez assumé seul la responsabilité des grands travaux publics que vous avez entrepris. C'est ainsi que, pour les fondations du pont du Forth, nos voisins d'Angleterre, si hardis cependant en matière d'entreprises, sont venus vous chercher pour faire, dans des conditions particulièrement délicates, les fondations de ce grand ouvrage métallique. Ensuite, vous avez montré dans l'exécution des importants ports de Bilbao, de Bruges, de Montévidéo, et enfin pour les nouveaux travaux du port d'Anvers, la fertilité de vos moyens, la simplicité de vos procédés et enfin la puissance de vos conceptions qui vous ont permis d'obtenir, au milieu des plus grandes difficultés, des résultats véritablement incomparables.

Ce faisant, non seulement vous vous êtes créé une réputation universelle en matière de travaux publics, mais vous avez porté haut et ferme le drapeau du Génie Civil français, contribuant à faire apprécier, au delà de nos frontières, les méthodes de travail à la fois scientifiques et rationnelles créées en France, faisant enfin aimer, et respecter au loin le nom glorieux de notre cher pays. *(Applaudissements.)*

MON CHER PRÉSIDENT,

Vous êtes donc qualifié plus que personne pour remplir avec distinction les fonctions auxquelles vous avez été élevé par le suffrage unanime de vos Collègues et je suis certain que je puis vous remettre en toute confiance la marche et les destinées de la Société des Ingénieurs Civils de France. *(Bravos. Longs et vifs applaudissements.)*

M. L. COISEAU, nouveau Président, après avoir serré la main de M. H. Couriot, prend place au fauteuil et prononce le discours suivant :

MON CHER PRÉSIDENT,

Je suis vraiment confus des paroles trop bienveillantes que vous venez de m'adresser : elles m'ont profondément touché, je vous en remercie.

Pour moi, ces éloges me sont d'autant plus chers qu'ils viennent d'un

Ingénieur dont la science et la compétence ont été consacrées par des titres aussi nombreux que brillants.

C'est avec infiniment de plaisir que je me fais ici l'interprète de tous les Membres de la Société pour rendre hommage à la courtoisie avec laquelle vous avez dirigé nos travaux ; à la grande activité, au dévouement que vous avez mis au service de la Société ; enfin, pour vous dire qu'aucun de nous n'oublie le cordial et splendide accueil dont nous avons été l'objet pendant ce merveilleux voyage dans le Nord et le Pas-de-Calais. La considération dont vous jouissez dans le monde des mines ne pouvait manquer d'influer sur ces réceptions.

Grâce à vous, mon cher Président, l'année 1904 comptera parmi les meilleures de la Société : permettez-moi de vous en féliciter.

Messieurs et chers Collègues,

Par vos suffrages presque unanimes, vous m'avez appelé à la présidence de notre Société : c'est le couronnement d'une carrière peut-être bien remplie, c'est un honneur dont je suis fier. Je vous en remercie du fond du cœur.

En m'élevant à cette haute fonction, vous avez montré que l'esprit libéral, la concorde, qui ont fait la force et la grandeur de la Société, qui lui ont assuré la grande autorité dont elle jouit en France et à l'étranger, n'ont point cessé de régner parmi nous.

Vous avez montré à nouveau que si vous saviez honorer les hommes de science, vous pouviez aussi faire une part aux travailleurs, aux praticiens, quand même ils n'appartiendraient, comme moi, à aucune École.

Quoique habitué à ne pas reculer devant les responsabilités, je dois vous avouer, mes chers Collègues, que celle dont vous m'avez chargé, n'aurait pas été sans m'inspirer quelques craintes si je n'avais été certain de pouvoir compter sur les conseils des anciens Présidents, sur les concours de notre Vice-Président M. Hillairet et des Présidents de section, dont j'ai pu apprécier le grand dévouement pendant mon année de stage, sur celui des Membres du Comité et, enfin, sur votre bienveillance habituelle pour m'aider à maintenir la Société dans la voie de progrès et de prospérité que lui ont tracée nos devanciers.

C'est, en effet, à l'étranger comme vient de vous le dire M. le Président Couriot, que s'est exercée mon activité.

Nombreux, Messieurs, sont nos Collègues qui, également, maintiennent haut et ferme les traditions de loyauté, de travail et d'intelligence de l'Ingénieur, du Constructeur et de l'Entrepreneur français dans le monde.

Permettez-moi de vous parler aujourd'hui de ces Collègues et de nos travaux.

Ce faisant, je vais tâcher de mettre au courant une page de notre histoire, dont la première partie a été écrite par l'un de nos anciens Présidents, M. Eiffel.

Beaucoup d'entre vous se souviennent certainement du discours,

plein d'intérêt et très documenté, que prononçait sur ce sujet, il y a quinze ans, au commencement de 1889, notre Président.

La période de près d'un demi-siècle, par lui envisagée, nous montrait dans quelle large mesure nos compatriotes avaient doté de nombreux pays étrangers de chemins de fer, de canaux, d'usines, etc., etc., et combien était glorieux ce passé pour les Ingénieurs français, combien il était rassurant pour l'avenir.

Notre Président ne dissimulait pas cependant que notre rôle d'éducateurs à l'étranger nous avait amené des concurrents de plus en plus redoutables.

En plus de ce rôle d'éducateurs, rempli par nous à l'étranger, nous en remplissions un autre dans notre pays.

Depuis longtemps déjà, nous importions — permettez-moi cette expression — de la matière première : Ingénieur, nous la cultivions, nous l'instruisions dans nos écoles, nous la façonnions sur nos travaux et dans nos usines, puis nous l'exportions dans ses pays d'origine.

Le nombre des Ingénieurs étrangers sortis des écoles des Mines, des Ponts et Chaussées et de l'École Centrale est considérable. Logiquement et naturellement, ces Ingénieurs devaient un jour nous remplacer dans leurs pays et rendre notre concours sinon inutile, du moins très difficile.

1889, point de départ de cette étude, marque une étape caractéristique dans l'histoire des Ingénieurs français. On était à la veille de faits considérables : l'Exposition universelle ouvrait ses portes aux concurrents de tous les pays du monde ; le régime économique, qui réglait les relations commerciales des nations depuis près de trente ans, était sur le point d'être bouleversé de fond en comble ; les traités de commerce étaient partout dénoncés ; un régime douanier nouveau, c'est-à-dire l'imprévu avec tous ses périls, allait être appliqué prochainement.

Aussi, dès la reprise de notre vitalité industrielle et commerciale, n'était-on pas sans crainte des effets que pourrait avoir, à partir de 1892, la refonte de notre législation douanière. Il y avait à redouter que le traitement protecteur réclamé par le producteur ne nous fermât, par représailles, l'accès de l'extérieur et que le gain, chez nous, ne vint pas compenser les pertes du dehors.

Pour toutes ces raisons, en dehors de celles politiques, beaucoup de pays, autrefois nos clients, nous ont été fermés ; fort heureusement, des débouchés nouveaux sont venus combler ces vides.

Une vaste enquête a été faite par le Gouvernement français, en 1902, pour rechercher à combien s'élevait la fortune française placée à l'étranger et comment elle y était répartie.

Les renseignements fournis à ce sujet par nos agents diplomatiques et consulaires permettent de dégager *l'emploi des capitaux français dans les entreprises industrielles étrangères*.

On peut voir que sur un chiffre de trente milliards représentant l'estimation de la fortune française disséminée dans le monde entier, il y a 298 millions engagés dans l'industrie ; 817 millions, dans les mines et la métallurgie ; 661 millions, dans les canaux, ports, etc., et 4 489 millions, dans les chemins de fer.

| PAYS | INDUSTRIE | MINES ET MÉTALLURGIE | PORTS et NAVIGATION | CHEMINS de FER |
|---|---|---|---|---|
| | millions | millions | millions | millions |
| Espagne . . . . . . . . . . . . | 173 | 71 | 46 | 1 662 |
| Portugal . . . . . . . . . . . | 60 | 1 | 30 | 30 |
| Angleterre . . . . . . . . . . | » | 3 | » | » |
| Belgique . . . . . . . . . . . | » | 60 | » | 80 |
| Luxembourg . . . . . . . . . | » | » | » | 30 |
| Allemagne . . . . . . . . . . | 22 | » | » | » |
| Russie . . . . . . . . . . . . | 427 | 365 | » | » |
| Suisse . . . . . . . . . . . . | 33 | » | » | » |
| Italie . . . . . . . . . . . . | 123 | 22 | » | » |
| Autriche-Hongrie . . . . . . . | 15 | 34 | » | 2 000 |
| Roumanie . . . . . . . . . . | 21 | 6 | » | » |
| Bulgarie . . . . . . . . . . . | 4 | » | 4 | » |
| Grèce . . . . . . . . . . . . | 10 | 24 | 60 | 10 |
| Turquie d'Europe . . . . . . . | » | 28 | 31 | 159 |
| Turquie d'Asie . . . . . . . . | » | 40 | 20 | 202 |
| Caucase . . . . . . . . . . . | 1 | 30 | » | » |
| Chine . . . . . . . . . . . . | » | 5 | » | 88 |
| Abyssinie . . . . . . . . . . | » | » | » | 31 |
| Égypte . . . . . . . . . . . . | 165 | » | 400 | » |
| États-Unis d'Amérique . . . . | 25 | 48 | » | » |
| Canada . . . . . . . . . . . . | 2 | 2 | » | » |
| Mexique . . . . . . . . . . . | 86 | 1 | » | » |
| Amérique Centrale . . . . . . | 1 | 15 | » | » |
| Cuba . . . . . . . . . . . . . | 25 | » | » | » |
| Haïti . . . . . . . . . . . . . | 3 | » | » | » |
| Porto-Rico . . . . . . . . . . | » | » | » | 3 |
| Venezuela . . . . . . . . . . | 1 | » | » | 18 |
| Colombie . . . . . . . . . . . | 1 | 5 | » | » |
| Pérou . . . . . . . . . . . . | 1 | 18 | » | » |
| Bolivie . . . . . . . . . . . . | 2 | 6 | » | » |
| Chili . . . . . . . . . . . . . | 36 | 18 | » | » |
| Argentine . . . . . . . . . . | 32 | » | 60 | 100 |
| Uruguay . . . . . . . . . . . | 14 | » | 10 | » |
| Brésil . . . . . . . . . . . . | 19 | 7 | » | 40 |
| Divers . . . . . . . . . . . . | 6 | 8 | » | 39 |
| TOTAUX . . . . . . | 1 308 | 817 | 661 | 4 492 |

L'étude que nous allons faire, pays par pays, nous montrera, depuis 1839, quelle part les Ingénieurs français prennent à la gestion de cette énorme capital:

Je remercie vivement les nombreux Collègues qui ont bien voulu me fournir des renseignements pour m'aider à établir cette étude : elle renferme certainement des erreurs, des oublis ; je vous prie, mes chers Collègues, de me les signaler, je m'empresserai de les réparer.

## Europe.

### Allemagne.

L'importance de nos relations commerciales avec l'Allemagne est considérable, mais le nombre des usines que nous y possédons et des Ingénieurs que nous y employons est assez restreint. Quant aux entreprises de travaux, elles sont nulles.

On peut citer comme usines celles des glaceries de la Compagnie de Saint-Gobain, Compagnie dont notre Collègue M. Delloye est le Directeur général : établies l'une à Valdhof, dirigée par M. Meyer, et l'autre à Stolberg, dirigée par M. Boué.

### Angleterre.

En Angleterre comme en Allemagne, les capitaux sont abondants, l'initiative nationale est développée, la vie économique du pays n'a pas besoin de commanditaires étrangers. Dans ces conditions, l'orgueil national aidant, les Ingénieurs français pas plus que d'autres étrangers, n'ont pas en Angleterre, de grandes chances d'être accueillis quoique jouissant d'une réputation incontestée au point de vue de l'exécution et du prix de leurs travaux.

Cependant, malgré cela, nos compatriotes ont encore été pour une grande partie les fournisseurs des chaudières de la Marine anglaise.

La Société Française de Constructions mécaniques et la Compagnie de Fives-Lille y ont fourni du matériel de sucrerie.

Notre Collègue Arnodin livre à la municipalité de Newport, dans le pays de Galles, un pont transbordeur, que nombre d'autres villes du littoral ne manqueront pas de lui réclamer.

MM. Henry-Lepaute ont construit et établi un certain nombre de phares sur les côtes anglaises et écossaises.

Notre Collègue, M. Bénard, et ses associés, MM. Barbier et Turenne, ont installé plusieurs grands phares en Angleterre, Irlande et Écosse.

Enfin, l'admirable industrie des automobiles, prenant sur notre sol le développement que l'on connait, voit ses exportations en Angleterre passer de *3 500 000 f* en 1900 à *10 000 000* de francs en 1901, *25 000 000* en 1902, et à près de *32 000 000* de francs en 1903.

### Autriche-Hongrie.

On pouvait, il y a une trentaine d'années, citer l'Autriche-Hongrie au premier rang des pays où l'Ingénieur français manifestait son intervention : de nombreux et importants ouvrages en témoignent.

Aujourd'hui, les entreprises françaises deviennent rares dans ce pays et quelques-unes de celles qui ont été créées par nos compatriotes ont été reprises par des Sociétés autrichiennes.

Dans cette période de quinze années, nous ne pouvons guère citer que la construction de la ligne de Trient à Feltre exécutée par des entrepreneurs français, MM. Lapeyre et Forot.

Les capitaux français restent encore engagés dans les chemins de fer d'Autriche-Hongrie pour une somme évaluée à 2 milliards : aucun Ingénieur français ne prend part à la direction ni à l'exploitation de l'outillage créé par cet énorme capital; par contre, beaucoup des Ingénieurs autrichiens dirigeants ont reçu leur instruction théorique et pratique dans nos écoles et sur nos chantiers.

### Belgique.

Les Ingénieurs français continuent à prendre une part active dans le mouvement industriel de la Belgique, comme du reste nos intelligents voisins du Nord dans celui de la France.

Parmi les grands travaux exécutés depuis 1889 dans ce pays, il y a lieu de mentionner les forts de la Meuse, entrepris par nos Collègues MM. Hallier, Baratoux et Letellier. Leur importance est de 50 millions.

MM. Hersent et fils viennent de terminer la construction de 2 000 m de murs de quai au port d'Anvers, dont le montant est de 12 millions. Notre Collègue M. Pagnard a dirigé les travaux.

Nous avons, en 1895, à la suite d'un concours, obtenu nous-même avec notre collègue et associé M. Jean Cousin, la construction des ports et du canal maritime de Bruges, dont l'importance est de 56 millions. Je vous ai donné la description de ces travaux dans l'une de nos dernières séances.

L'année dernière, la Ville d'Anvers nous a chargé, à la suite d'un concours, de la construction de la grande écluse maritime du Nord dont la valeur est de 7 millions.

Notre Collègue, M. Chagnaud, a construit le tunnel et le grand viaduc d'Herbimont sur la ligne de Bertrix à Carignan.

M. Fougerolle reconstruit celui de Huy sur la ligne de Namur à Liège.

La Société Dyle et Bacalan, dont notre Collègue M. Rey est administrateur, a fourni pour près de 30 millions de matériel de chemins de fer.

Quant aux industries, aux usines créées, administrées et dirigées par des Ingénieurs français, elles sont très nombreuses; je n'en citerai que quelques-unes :

La Compagnie de Saint-Gobain a mis en marche, en 1902, une usine à Franières pour la fabrication des glaces polies, sous la direction de notre Collègue M. Millet.

M. Doat continue à administrer et diriger la Compagnie générale des conduites d'eau.

M. Baillet dirige le chemin de fer de Chimay.

Les glaceries de Courcelles ont comme Directeur notre Collègue M. Droit.

Les laminoirs de la Vieille-Montagne, les ateliers de Willebroeck, les usines à gaz de Saint-Josse-ten-Noode, les établissements Valère Mabille et quantités d'autres usines et ateliers emploient des Ingénieurs français.

Dans le Luxembourg, notre Collègue Fougerolle a construit le grand pont Adolphe, d'après les plans de M. Séjourné, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

### Bulgarie.

Les travaux et entreprises exécutés en Bulgarie par des Constructeurs et Ingénieurs Français sont :

Chemin de fer de Sofia à Roman à travers les Balkans par le défilé de l'Iskar, construit par M. Guillou, Ingénieur des Ponts et Chaussées, ancien Directeur général des Chemins de fer de Roumanie, associé à un Entrepreneur bulgare, M. Hagienoff.

Notre Collègue, M. Pellerin et ses fils, Entrepreneurs, ont exécuté les fondations à l'air comprimé de nombreux ponts de chemins de fer, notamment pour l'État.

Les projets des ports de Bourgas et de Varna ont été élaborés par M. Guérard, alors Ingénieur en chef du port de Marseille (aujourd'hui Inspecteur général des Ponts et Chaussées), qui en a suivi l'exécution comme Ingénieur Conseil du Gouvernement. L'entreprise du port de Bourgas commencée par une maison belge a été reprise et terminée par la Société de Construction des Batignolles.

Les travaux du Port de Varna, qui va être terminé incessamment, ont été exécutés sous le contrôle local d'un Ingénieur français, M. d'Istria.

### Espagne.

Les capitaux français engagés en Espagne sont estimés à près de 2 milliards de francs dont 1 600 000 f dans les chemins de fer.

Ce sont, comme vous le savez, les Ingénieurs français qui, il y a plus d'un demi-siècle, commencèrent la construction de ces chemins de fer: c'est encore par eux qu'ils sont dirigés et exploités conjointement avec les Ingénieurs espagnols.

La Compagnie des Chemins de fer du Nord de l'Espagne a à sa tête M. Waldmann, Ingénieur des Ponts et Chaussées, comme Ingénieur conseil à Paris; M. Bachy a succédé à M. Aubert à la Direction générale à Madrid; notre Collègue M. Duvignaud est Ingénieur du matériel; MM. Boise, Perrouton, Joinard, Flobert et Panouse font partie du haut personnel.

La Compagnie de Madrid-Saragosse et Alicante est dirigée par notre Collègue M. Suss, M. Marie est Ingénieur de l'exploitation et M. Chabardes, Ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction.

Le haut personnel de la Compagnie des Chemins de fer Andalous est composé de M. Keromnes, Directeur de la Compagnie à Malaga. M. Rennes est l'Ingénieur en chef de la traction et du matériel, M. Morin, Ingénieur de la voie et des travaux.

Divers ouvrages importants ont été exécutés dans ces quinze dernières années.

L'établissement de la ligne de Linares à Almeria est entrepris à forfait et exécuté par la Société de Fives-Lille : elle fournit le matériel fixe ainsi que le matériel roulant.

Cette ligne comprend des ouvrages remarquables, entre autres, le viaduc du Guadahortuna, de 621 m de longueur avec piles métalliques de *42,90 m* de hauteur, le viaduc du Rio Salado de 315 m de longueur avec piles de maçonnerie de 103 m de hauteur, le viaduc de l'Andarax de 392 m, avec piles fondées à l'air comprimé, la gare monumentale d'Almeria. Ces ouvrages comportent l'emploi de 8 000 t de métal.

Nous sommes chargés nous-même, avec nos Collègues MM. Couvreux et Allard, de la construction du port extérieur de Bilbao, dont l'importance est de 37 millions.

Notre Collègue, M. Arnodin construit le pont de Santa Isabella, près de Saragosse, et le premier pont transbordeur à l'embouchure de la rivière de Bilbao, entre Portugalete et Las Arenas.

La Societé des Ponts et Travaux en fer dont nos Collègues MM. Marsaux, Petit, Delaporte et Gollier sont les administrateurs, construit le chemin de fer de Las Blancas au Descargador dans la Sierra de Cartagène.

Notre Collègue M. Terrier construit le bassin de radoub de l'Arsenal de la Carraca à Cadix (4 200 000 f).

Les Anciens Établissements Satre, aujourd'hui réunis sous le nom de Compagnie Française de Navigation et de Constructions Navales, notre Collègue M. Le Sauvage étant Directeur général, ont fourni un matériel de dragage complet.

La Société Dyle et Bacalan fournit pour 5 millions de matériel roulant et fixe aux diverses Compagnies de chemins de fer.

De nombreuses locomotives et du matériel de sucreries sortent des ateliers de la Compagnie Française de Constructions Mécaniques (Anciens Établissements Cail) (445 000 f).

Nos Collègues MM. Daydé et Pillé fournissent à la Compagnie des Chemins de fer Andalous les tabliers métalliques pour la ligne Puente Genil-Linares, les remises pour locomotives, les abris à voyageurs, etc.; à la Compagnie des Chemins du Nord de l'Espagne les charpentes métalliques et ateliers de la gare de Valladolid et quantité de ponts : ces fournitures représentent près de 4 millions de francs.

Notre Collègue, M. Haour, a eu l'entreprise générale des tramways électriques de Valence.

L'exploitation des mines a continué à absorber une grande quantité de capitaux français et a exigé le concours de nombreux Ingénieurs.

Les mines de Penarroya de plomb argentifère ont comme Administrateur délégué M. Ledoux et comme Directeur et Ingénieur MM. Gromier et Chartel.

Les mines de charbon de Puertollano.

Les mines de fer La Franco-Belge ont toujours comme Directeur général M. Etchats, et comme Ingénieur en chef, M. Benoist, nos Collègues.

La Argentifera.
El Horcajo, plomb argentifère.
La Compagnie d'Aguilas, cuivre, plomb, zinc.
Escombrera-Bleyberg, plomb.
Lavion, zinc.
Les Pyrites de Huelva.
Les Phosphates de Penaflor.
La Compagnie de Las Rosas et Garrucha ont eu pour Directeur notre Collègue M. Tardieu.

Les mines de cuivre La Maatschappij Sevilla sont dirigées par notre Collègue Lantillon.

Les houillères de Bernega sont dirigées par M. Laran.

Les mines de Baamande par M. Laborde.

Les mines de soufre de Lorca par M. Verdun.

Les ateliers créés par nos compatriotes sont plus nombreux que dans aucun autre pays.

La Compagnie du Gaz Eugène Lebon occupe dans ce pays une place fort importante.

La Société de Carbonisation a installé de nombreux appareils dans les usines de la Viscaya, de Mierès, de Duro Felguera, de Peña Roya.

MM. Henry-Lepaute ont construit plusieurs phares sur les côtes d'Espagne.

A la Perra, près de Bilbao, MM. Barbier frères et Bouchy montent des ateliers de clous, pointes et rivets.

Près de Bilbao également, au Desierto, MM. Allard et Bonvillain, nos Collègues, installent les tréfileries et câbleries La Franco-Espanol pour la fabrication des câbles de mines, pour les chemins aériens, etc.

M. Albert Bovagnet a des ateliers de constructions métalliques à Bilbao également.

A Santander, deux raffineries de pétrole sont françaises : l'une à MM. Deutsch et Cie et l'autre de MM. Desmarais frères.

M. Averly crée dans la province de Saragosse une usine pour l'installation des moulins à farine.

La Société Générale des Ciments de Sestao, dont tous les actionnaires sont français, crée une filiale pour l'exécution des travaux en ciment armé.

MM. Barbier, Bénard et Turenne ont fourni plusieurs phares sur les côtes d'Espagne et dans ses colonies.

Enfin, de nombreuses usines à gaz, des Sociétés de conduite et distribution d'eau ont été installées et sont exploitées par des Français.

### Grèce.

L'influence des Ingénieurs français en Grèce a continué à s'exercer comme par le passé.

Les mines de Laurium, Seriphos, Sunium et Grammatico sont toujours gérées et conduites par des Ingénieurs français, MM. Albrand, Chollet, Monin.

Le port de Patras a été terminé; sa construction est due, vous le savez, à nos compatriotes MM. Magnac et Terrier, notre Collègue.

En 1893, la Société Française des Fonderies et Laminoirs de Biache et Saint-Waast a obtenu la concession de la frappe des monnaies de nickel.

La Société des Batignolles a construit de 1902 à 1904 la ligne Pirée-Demirly représentant 40 millions de francs : elle a fourni dix locomotives pour cette ligne et a construit, en outre, le viaduc métallique de l'Assopos.

Les anciens établissements Cail ont également fourni des locomotives et du matériel.

En 1902, la Compagnie hellénique d'électricité a construit au nouveau Phalère, entre Athènes et le Pirée, une grande station centrale destinée à assurer l'éclairage des deux villes et à fournir la force motrice nécessaire au chemin de fer d'Athènes-Pirée d'abord, puis, ultérieurement, aux tramways Athènes-Pirée et extensions. Tout le matériel électrique de la station centrale du Phalère, ainsi que celui des sous-stations du Pirée et d'Athènes sortent des Établissements Postel-Vinay.

Citons les noms de nos compatriotes Dacosta, Directeur de l'Usine à Gaz du Pirée; Favette, Directeur de l'Usine à Gaz d'Athènes; Maton, Ingénieur attaché à la Direction des Travaux Publics; Gross, Ingénieur Directeur de la Société Franco-Hellénique d'explosifs; Delmonly, Directeur des Tramways d'Athènes; Mineur, Ingénieur à la Société Hellénique de gaz et d'électricité à Athènes.

## Italie.

Les entreprises pour les Français sont devenues difficiles dans ce pays, à la suite de la rupture de nos relations commerciales.

Nous ne saurions trop nous féliciter du rapprochement survenu dans ces derniers temps.

Nos Collègues, MM. Zschokke et Terrier ont terminé les bassins de radoub de Gênes; ils ont prolongé le bassin de radoub de Livourne ; ils ont enfin construit le collecteur Polesano-Padano à Rovigo.

Un certain nombre de phares ont été construits et installés par MM. Henry-Lepaute.

MM. Duparchy et Dollfus construisent, en 1890-1892, les tramways à vapeur dans la province de Plaisance et forment une Société qui les exploite : c'est à peu près tout en fait de travaux.

Dans le sud de l'Italie, nous exploitons des entreprises d'eau, de gaz, de tramways : M. Jacquet dirige les mines de pétrole de Montechino ; M. Vallette, celle de Vellata.

Les Ferrière del Vesuvio ont été fondées à Torre Annunziata Centrale (baie de Naples), par MM. Natanson, Duché et Grangnat. Une aciérie y a été annexée. Ces établissements ont été repris en 1900 par la Ferrière Italiane.

M. Pérouse dirige la Compagnie Napolitaine du Gaz de Naples.

M. Marsel est à la tête des Chemins de fer économiques du Biellais.

PORTUGAL.

En Portugal, l'œuvre des Ingénieurs français est considérable. Ce sont eux qui ont construit, ainsi que vous le savez, la majeure partie du réseau de chemin de fer; des capitaux français fort importants sont encore engagés dans les chemins méridionaux, Portugais, Beira-Alta.

La Compagnie française du Chemin de fer de la Beira-Alta a pour Inspecteur général M. Drouin notre Collègue, M. Stevenin est Ingénieur en Chef de l'Exploitation; M. Chapuis est Directeur des Chemins de fer portugais à Lisbonne; M. Gravier est Ingénieur du matériel et de la traction.

De 1889 à 1892 la Société de Construction de Levallois-Perret fournit les ponts pour le doublement des voies de la ligne de Lisbonne à Badajoz. Elle fournit actuellement des charpentes en fer à la Compagnie royale des Chemins de fer portugais. La Société Française de Constructions mécaniques (anciens Établissements Cail) construit l'estacade accostable de Bareiro pour le chemin de fer de l'État.

La Société Dyle et Bacalan fournit du matériel roulant.

La Société de Fives-Lille exécute, pour la ligne de Vendas Novas à Santa-Anna, les fondations à l'air comprimé, les maçonneries et les tabliers métalliques du pont sur le Tage et les tabliers métalliques des deux ponts de Muje et d'Azambuja.

MM. Hersent et fils ont continué la construction du port de Lisbonne et la régularisation de la rive du Tage pour la construction du chemin de fer de Lisbonne à Cascaes. Notre Collègue, M. Maury, a dirigé les travaux.

Divers phares ont été installés par MM. Bénard, Barbier, Turenne.

Nos Ingénieurs et nos capitaux assurent l'existence et le fonctionnement d'entreprises industrielles telles que les tuileries de Lisbonne, les Compagnies réunies du gaz et de l'électricité, de la Compagnie frigorifique portugaise, de la Société générale de transport, des vapeurs de Lisbonne, de la Raffinerie privilégiée du Portugal qui a pour Directeur technique M. Prévost; des Eaux de Portinao, de Setubal, de Porto, dont les travaux furent exécutés par M. Gustave Marchant et dont notre Collègue, M. Henri Labbe est actuellement chef d'exploitation.

Des Sociétés minières pour l'exploitation d'étain, de wolfram et de fer sont organisées avec nos capitaux et parmi les plus importants, citons les mines de Moncorvo, appartenant à MM. Schneider et C[ie]; la Société des mines d'étain de Bragance; la Compagnie des mines de plomb argentifère de Braçal dont notre Collègue, M. Léon Maudet de Neubourg est Ingénieur-Directeur général; les mines de cuivre de Almodava sont dirigées par M. Marelle.

Notre Collègue, M. Maximilien Douau est Directeur de l'exploitation du port de Lisbonne.

ROUMANIE.

La Roumanie a continué à être l'un des bons clients pour les Constructeurs et Entrepreneurs français.

Les Ateliers Daydé et Pillé construisent, de 1890 à 1899, pour les

Chemins de fer roumains, les tabliers métalliques des ponts de la ligne de Vaslui Jassy et ceux de la ligne Calimanesti à Riul Vladulni; pour le Ministère roumain des Travaux publics, le pont sur le Jiu avec voie inférieure pour chemin de fer et voie supérieure pour route et divers tabliers métalliques pour ponts, routes; enfin ceux de la ligne de Pitesti à Curtea de Arges.

MM. Schneider et Cie construisent de 1891 à 1893 un pont sur la Borcéa, en collaboration avec M. Gaertner, ouvrage d'une importance de près de 4 millions.

La Compagnie de Fives-Lille construit de 1890 à 1895 le pont monumental de Carol Ier à Cernavoda, sur le Danube, d'une longueur totale de 750 m en cinq travées dont une centrale de 190 m, et quatre de 140 m : les piles sont fondées à 32 m au-dessous du niveau de l'eau et elles s'élèvent à 30 m au-dessus. Elle exécute les fondations à l'air comprimé, les maçonneries et les tabliers métalliques des ponts sur le Sereth à Lungacin, sur l'Argesch et sur la Prahova, les tabliers métalliques des ponts de Roman, de Vadeni et de la ligne de Ploesti à Prédeal.

La Société des Ponts et Travaux en fer fournit aux chemins de fer roumains soixante-trois tabliers métalliques et trois ponts-routes.

En 1895, la Société Française de Constructions mécaniques fait une importante fourniture de hangars et ponts métalliques : elle livre également du matériel de sucrerie.

Le pont de Barbosi, sur le Sereth, est construit en 1898 par MM. Kessler et Cie d'Argenteuil.

Un grand nombre de fondations de ponts à l'aide de l'air comprimé ont été exécutés par MM. Pellerin.

Les travaux de rectification du cours du Sereth ont été exécutés par la maison française Eloi Jacquemin.

Des phares ont été construits par MM. Barbier, Bénard et Turenne.

La Société des Charbonnages roumains, la Société minière roumaine, la Société anonyme des basaltes de Cotreceni, les carrières de pierre de Turcoïa, la Société franco-roumaine des pétroles de Campina absorbent ensemble plus de 6 millions de capitaux français.

Une vingtaine de millions de francs sont engagés dans l'industrie qui compte surtout la grande sucrerie-raffinerie de Ripecini.

Notre Collègue M. Angely est Ingénieur en Chef de l'arsenal de Bucharest.

M. Pluvier est Administrateur des exploitations pétrolières de la Steana Romana.

M. Bouron est Directeur du Gaz de Bucharest.

## Russie.

Les Ingénieurs et Constructeurs français n'ont peut-être pas participé, pendant la période considérée, autant que leur situation privilégiée aurait dû leur permettre, à l'exécution des travaux publics.

On ne peut guère citer, comme ouvrage important, que le pont de Troïtzky sur la Néva à Saint-Pétersbourg, dont la construction a été

confiée à la suite d'un concours international à la Société des Batignolles. Le coût de cet ouvrage est de 14 millions de francs.

La même Société a construit également le pont sur la Narova à Narwa; elle a fourni en outre plusieurs ponts pour la Sibérie.

Nos Collègues, MM. Duparchy et Dollfus, ont construit une partie du chemin de fer de Tiflis à Kars.

Les anciens Établissements Sâtre fournissent du matériel de dragage pour près de 5 millions.

La Société de Construction de Levallois-Perret a fourni des ponts pour la ligne Riazan-Ouralsk et des ponts de guerre.

La Société Dyle et Bacalan a installé pour la Société du Haut-Volga la grande usine de Constructions mécaniques et divers de Tver.

MM. Barbier, Bénard et Turenne ont installé des phares en Russie et dans le Grand-Duché de Finlande.

Par contre, l'activité française s'est manifestée d'une façon remarquable en contribuant à la mise en valeur des richesses minières et à la création de l'industrie métallurgique.

Nous citerons les importantes mines de Krivoï-Rog auxquelles des hauts fourneaux furent adjoints en même temps qu'une houillère. M. Bergbeger et notre Collègue M. Gruner en sont les Administrateurs délégués. Une autre grande exploitation située dans le même district a pour Président notre Collègue M. de Bovet et pour Directeur M. Vincent.

En Pologne, l'usine de Huta-Bankova créée par M. Verdié s'est développée et est arrivée à un haut degré de prospérité sous la direction de M. Perraudin.

L'usine créée par cette Société dans le Donetz est devenue très importante sous l'administration de MM. Verdié fils et Chanove et sous la direction de M. Pasquier.

L'importante houillère de Routchenko a pour Administrateur et Ingénieur-Conseil notre Collègue M. Barbier.

La Société d'Ekatherinowka est administrée par notre Collègue René-Raoul Duval et Edouard de Billy, et dirigée par M. Bouroz.

La Franco-Russe est administrée par M. de Boissieu.

La grande houillère de Stcherbinofka a été créée par M. Bague, actuellement Directeur de Govlofka.

La Société de Nikitovka a eu pour Directeur M. Georges Reymond et comme Administrateur délégué M. Grüner.

Notre Président, M. Couriot administre des charbonnages dans le bassin sous-moscovite.

La Société Oural-Volga est administrée par M. P. Davey et Clausel de Coussergues et a pour Directeurs MM. Arter et notre Collègue M. Linder. Notre Collègue M. A. Gouvy, a construit pour cette Société les deux usines à fonte de Awzianopetrowsk et de Lemeza.

Les mines de naphte de Bakou, appartenant à MM. De Rotshchild, sont administrées par M. Aron.

Nombreux seraient encore les noms à citer des Ingénieurs-Conseils et Directeurs qui ont pris part à la création ou à la gestion d'affaires importantes dans ce pays.

### Serbie.

En Serbie, les tramways électriques de Belgrade et des travaux de voirie importants sont construits par nos compatriotes, MM. Lauret et Verjat.

Il convient de citer la mine de houille de Jelachnitza outillée et dirigée par des Français.

La Société française des mines de cuivre de Rebel.

La Compagnie française des mines de cuivre de Bor dont, dont le Président est M. F. Mirabeau.

### Suisse.

En Suisse, nos Collègues MM. Fougerolle frères construisent actuellement le tunnel du Ricken d'une longueur de 8 600 m pour le prix de 10 millions de francs.

Quelques-uns de nos Collègues sont attachés, comme Ingénieurs, aux Ateliers de Constructions électriques, aux Chemins de fer fédéraux et aux mines.

### Turquie d'Europe.

La France a, dans l'Empire Ottoman, des intérêts considérables engagés dans les ports, dans les chemins de fer, dans les mines et dans les entreprises industrielles.

On compte en Turquie d'Europe, dans les ports, environ 30 millions de francs : Port de Salonique; Quais de Constantinople; dans les chemins de fer 160 millions de francs, dont 155 pour les chemins de fer Salonique-Constantinople, et le reste pour les chemins de fer Orientaux; dans les mines et l'industrie, une trentaine de millions, répartis entre les usines de manganèse de Kassandra, les mines de bitume de Selenitza et les diverses exploitations industrielles suivantes, dont les capitaux sont français : Gaz de Salonique et de Scutari, Sociétés de Stéarinerie, Société Ottomane des Allumettes, Société du Tombac (4 millions). Régie des Tabacs (15 millions de capital français), les Eaux de Constantinople, les Phares de l'Empire.

Depuis 1889, les Sociétés Vitali, la Société de Construction des Chemins de fer, et, plus tard, la Régie Générale des Chemins de fer, dont M. le comte Vitali était Président, et auquel a succédé son fils, M. le comte Georges Vitali, ont continué la construction des voies ferrées de l'Empire Ottoman, dont elles avaient établi déjà la majeure partie.

Les lignes de raccordement des chemins de fer de la Turquie avec ceux de Serbie et de Bulgarie : lignes de Bellova à Vakarel, de Zibeftche à Uskub sont exécutées en 1889 par cette Société. Successivement, elle construisit, de 1890 à 1894, en Macédoine, la ligne de Salonique à Monastir; de 1893 à 1896, en Macédoine et Thrace, la ligne Salonique à Dédeagatch, avec embranchement sur Karasouli et sur Feredjik; l'importance de ces travaux est de 118 millions de francs. La Société en fait l'exploitation.

La Société des Quais de Constantinople, dont Michel Pacha est Président, confie à notre Collègue M. Duparchy la construction des quais de cette capitale; elle en fait l'exploitation.

Les travaux du Port de Salonique sont exécutés par notre Collègue M. Bartissol, de 1896 à 1903, et la Société Française de Construction du Port de Salonique en assure l'exploitation.

Des phares ont été construits par MM. Bénard, Barbier et Turenne.

Citons les noms de quelques Ingénieurs français établis en Turquie :

Alexis Rey, Directeur de la Compagnie du Chemin de fer Ottoman, jonction Salonique-Constantinople;

Léon Sellié, Directeur de la Compagnie des Eaux de Constantinople;

Louis Chenut, Administrateur de la Régie Générale des Chemins de fer en Orient;

Léon Faure, Ingénieur Directeur de l'Ecole des Arts et Métiers de Stamboul;

Dominique Favette, Ingénieur des Mines, Conseiller technique à l'usine de Dolma-Bagtché;

Le Comte de Vaureal, Administrateur des Phares de l'Empire Ottoman;

Étienne Leduc, Conseiller technique adjoint des Télégraphes Ottomans;

Henri Muller, Inspecteur principal aux Chemins de fer Orientaux;

Auguste Rivet, Inspecteur général à la Direction technique du Ministère du Commerce et des Travaux Publics;

Jean Voisin, Ingénieur à Péra, Chef du Service technique à la Dette publique Ottomane.

## Asie.

### Turquie d'Asie.

On évalue à 260 millions le capital français engagé dans la partie asiatique de l'Empire Ottoman, pour les chemins de fer, tramways, ports et mines; notamment dans les lignes de Moudania-Brousse, Smyrne-Cassaba, Mersine-Adana, Beyrouth-Damas-Hauran, Jaffa-Jérusalem, pour les tramways libanais reliant Tripoli, Beyrouth, Saïda, pour les ports de Smyrne et Beyrouth, et pour les mines d'Héraclée.

La Société Vitali construit, de 1889 à 1893, la ligne d'Ismid à Angora, en Anatolie; de 1894 à 1897, la ligne de Cassaba à Afioum-Karaissar, et les parachèvements de la ligne de Smyrne-Cassaba à Soma; de 1897 à 1901, elle construit, en Syrie, la ligne de Rajak à Hama, et enfin, de 1897 à 1903, le raccordement de Beyrouth au port. L'importance de ces travaux est de *129 millions de francs*.

La Société exploite le réseau de Smyrne-Cassaba et prolongements, et celui de Beyrouth-Damas.

De 1890 à 1892, la Société de Construction des Batignolles établit la ligne de Moudania à Brousse. De 1892 à 1895, elle construit la ligne de Beyrouth à Damas. Ces travaux représentent une dépense de près de *25 millions de francs*.

La Société de Fives-Lille fournit les tabliers métalliques de cinq grands ponts pour le chemin de fer de Hamidié-Hedjaz.

La Société de Construction de Levallois-Perret fournit divers ponts-routes et les magasins du port de Beyrouth. La Société Française de Constructions Mécaniques fournit les locomotives au chemin de fer de Bagdad.

De 1890 à 1895, notre Collègue M. Dollfus. et MM. Muzey, Thevenin et Loury, construisent le port de Beyrouth, dont les plans ont été établis et la construction dirigée par M. Garetta, I. des P. et Ch.

Nos Collègues MM. Barbier et Benard établissent, dans des conditions exceptionnelles de difficultés, trois phares dans la Mer Rouge.

Les mines d'Héraclée sont dirigées par M. Harvard Duclos. Celles de Kerecsou et Karaïdin ont pour administrateur délégué M. Rouzaud, et pour Directeur M. Lazergues. Notre Collègue M. Coulbeaux dirige les mines de borate de chaux de Sultan-Tchaïr.

M. Tanant dirige l'exploitation du chemin de fer Damas-Hamah; notre Collègue M. Viterbo, celle du chemin de fer Mersina-Adana.

M. Beaujain dirige l'exploitation de Smyrne-Cassaba; M. Faure, celle de Moudania-Brousse.

### Chine.

Les capitaux français engagés en Chine sont assez importants; ceux employés pour les chemins de fer sont estimés à 170 millions.

Le chemin de fer de Hankeou-Pékin est construit et exploité par une Société franco-belge. Les usines des deux pays se répartissent les fournitures de matériel fixe et de matériel roulant.

Le personnel est de même français et belge: M. Jean Jadot, Ingénieur belge, est directeur; notre Collègue M. Bouillard est Ingénieur en Chef de l'exploitation. M. Hiribarren est Ingénieur du matériel et de la traction. Notre Collègue M. Seymat est Ingénieur en Chef du service des travaux du Nord. M. Geoffroy est Secrétaire technique du Directeur. M. Nicolin est Ingénieur du matériel et de la traction à Hankeou. Notre Collègue M. Barre est Sous-Directeur de la Société à Bruxelles; M. Chabry est Ingénieur en Chef au service de la direction à Bruxelles.

Tous ces Ingénieurs sortent de l'École Centrale, sauf M. Nicolin qui sort des Arts-et-Métiers.

La Compagnie des Chemins de fer de l'Indo-Chine et du Yunnan fait construire le chemin de fer de Laokay à Yunnansen. La construction de ce chemin de fer, dont l'importance est de 72 millions, est entreprise par la Société Vitali.

La Société Fives-Lille a construit le pont sur le Pei-Ho, à Tientsin. Les fondations des piles ont été faites à l'air comprimé.

La Société de Levallois-Perret a construit le pont-route de Lai-Choueï-Hsien, dans la province du Petchili. Elle a fourni cent huit tabliers métalliques pour la Compagnie du Chemin de fer Impérial Chinois (ligne de Lan-Ho à Shan-Haï-Kwan) et le tablier du pont de Lou-Kou-Tiao.

La Société Française de Constructions Mécaniques a construit une estacade et des ateliers à Port-Arthur.

La Compagnie Française de Navigation et de Constructions Navales (anciens Établissements Satre) a fourni du matériel de navigation.

Des phares ont été construits par MM. Barbier, Bénard et Turenne.

Les entreprises minières n'en sont encore qu'à leurs débuts; différentes concessions ont été données à des Sociétés et des Syndicats français. On peut citer comme actuellement en exploitation les mines de mercure de Koueï-Tchéou, celles de Setchouen.

La Maison L. Vrard et Cie, qui travaille de compte à demi avec le Bureau des Mines de Houkouanga, monte sur la rive droite du Yangtse une installation considérable pour le lavage des minerais d'antimoine, de plomb et de zinc.

## Afrique.

### Abyssinie.

En Abyssinie, la Compagnie Impériale des Chemins de fer Éthiopiens (dont la concession a été accordée à MM. Ilg et Chefneu) est constituée pour la construction et l'exploitation, dans l'Empire et dans la région faisant partie du territoire français, de chemins de fer, et spécialement : des lignes de Djibouti à Harrar, 300 km environ, de Harrar à Entoto. de Entoto au Kaffa et au Nil Bleu.

L'entreprise de la construction de la première partie de ces lignes a été exécutée par nos Collègues MM. Duparchy et Vigouroux.

### Egypte

En Égypte, où nous avons eu autrefois une situation prépondérante, dans ce pays où nous avons construit ce canal de Suez avec ses ports et quantité d'autres travaux remarquables, notre intervention va en s'effaçant devant l'influence de l'Angleterre : nous sommes loin d'avoir pris, depuis dix ans surtout, dans le progrès constant de la vie économique de l'Egypte, la part que notre passé semblait devoir nous assurer.

Cependant, quand nous avons pu présenter nos propositions soit aux adjudications, soit par concours, nous sommes presque toujours sortis les premiers.

Malheureusement, nous n'avons pas été appelés à concourir à la construction des ouvrages les plus importants tels que les barrages du Nil qui, par suite de combinaisons financières, ont pu être donnés directement à nos bons amis de l'entente cordiale.

Ce que nous pouvons espérer de mieux, c'est que le principe d'adjudication sur projet, établi par les administrateurs ou par concours, en vigueur aujourd'hui, soit maintenu.

De 1889 à 1904, les anciens Établissements Cail fournissent en Égypte pour près de quatre millions de francs de matériel pour sucreries et ils viennent d'obtenir des Chemins de fer de l'État la commande de 10 locomotives et 10 tenders valant ensemble 1 200 000 f.

MM. Daydé et Pillé construisent, de 1890 à 1903, pour les chemins de fer égyptiens, deux ponts sur le Nil sur piles fondées à l'air comprimé, l'un à Embabeh, l'autre à Mansourah, et le comble métallique de la nouvelle gare du Caire : l'importance de ces travaux dépasse trois millions et demi de francs.

La Société de Levallois-Perret construit de 1894 à 1897 un pont sur le Nil, à Nag-Abou-Hamadi, valant 1 150 000 f : les fondations des sept piles de ce pont ont été descendues jusqu'à 27 m sous l'étiage.

La maison Nouguier, Kessler et C[ie] construit le pont de Dessouk sur le Nil, valant 1 600 000 f.

La Société Franco-Belge de Raismes est déclarée adjudicataire, en 1894, de 24 locomotives au prix total de 1 025 888 f; en 1899, la même Société obtenait de l'Administration des chemins de fer la commande sur adjudication de 20 locomotives.

Les anciens Établissements Satre fournissent pour 1 400 000 f de bateaux porteurs à hélices, remorqueurs, etc.

La Société Fives-Lille installe trois sucreries travaillant ensemble 5 100 000 kg en vingt-quatre heures et fait diverses autres fournitures : l'ensemble s'élève à la somme de 13 millions.

Quelques-uns de nos compatriotes occupent dans ce pays des situations importantes; nous pouvons citer :

M. Barrois, Administrateur des Chemins de fer; M. Hussou-Hary, chargé des études et travaux d'art de la même administration;

M. Malaval, Directeur des travaux d'amélioration du port d'Alexandrie;

M. Waast, Directeur technique de la New-Egyptian C°, qui procède actuellement à l'établissement d'un chenal navigable à travers le lac Menzaleh pour relier Damiette à Port-Saïd;

M. Chelu-Bey, Directeur de l'Imprimerie Nationale;

M. Meunier-Bey, Directeur de l'École khédiviale des Arts et Métiers du Caire;

M. Souter, Ingénieur en Chef des Domaines de l'État égyptien.

Un grand nombre d'Ingénieurs distingués sont occupés au Canal de Suez, à la Société des Sucreries et Raffineries d'Égypte, à la Daïra Sanieh et aux Domaines.

## Amérique.

### Argentine.

Les capitaux français engagés en Argentine sont assez considérables; une bonne partie est employée dans des propriétés et dans l'élevage de bétail et le reste dans l'industrie des chemins de fer et dans les ports.

La Compagnie Fives-Lille a exécuté les travaux de deux importantes concessions de chemins de fer : l'une concédée par le Gouvernement Argentin entre San Cristobal et Tucuman et comprenant une longueur de 650 km, et l'autre concédée par la province de Santa-Fé et embrassant près de 1 300 km, dont 500 de lignes nouvelles : l'importance est de 24 000 000 f. La Compagnie Française des Chemins de fer de la province de Santa Fé a pour Directeur général notre Collègue M. Coureau.

La Compagnie de Fives-Lille a également installé trois sucreries et distilleries.

La Société des Batignolles a construit le chemin de fer de Villa Mercedes à Toma dont l'importance est de 9 600 000 f.

La Société Dyle et Bacalan fournit pour près de 5 000 000 f de matériel roulant aux Chemins argentins.

La Société Française de Constructions mécaniques fournit un important matériel pour sucreries.

Des phares ont été construits par MM. Barbier, Bénard et Turenne.

MM. Hersent et Fils et Schneider obtiennent, à la suite d'un concours, la concession et la construction du port de Rosario, dont l'importance est de 60 millions. Notre Collègue M. Pagnard dirige sur place les travaux.

MM. Henry-Lepaute y ont installé et construit un certain nombre de phares.

En 1899, à Nonogasta, la Société Française des Mines et Fonderies d'argent commence son exploitation.

Notre compatriote M. Langlois est à la tête d'importantes propriétés et sucreries.

Notre Collègue M. Georges Leroux gère la Compagnie du Gaz de Buénos-Ayres.

Les Français occupent une place importante dans la République Argentine; elle pourrait être plus grande, nous ne devons pas perdre de vue ce pays nouveau et nous laisser distancer par les Anglais et les Allemands.

### Brésil.

Au Brésil, la construction des chemins de fer, de même que l'industrie sucrière, a depuis longtemps sollicité l'intervention des Ingénieurs français. On estime actuellement que 40 millions d'intérêts français sont engagés dans les chemins de fer et 20 millions dans l'industrie.

Dans la construction des chemins de fer du Parana, la Société Dyle et Bacalan livre de 1889 à 1895 plus de 300 km à l'exploitation à la Compagnie générale des Chemins de fer Brésiliens et pour près de 4 millions de francs de matériel fixe et roulant.

Les Anciens Établissements Satre fournissent un train de dragage d'une valeur de 2 millions.

Notre compatriote M. Caillet construit des lignes monorails pour les transports industriels.

MM. Baudet Donon construisent les grands réservoirs pour l'alimentation de la ville de Para, travail obtenu à la suite d'un concours.

Notre Collègue et correspondant Auguste Duprat est Directeur général du Chemin de fer du Sud Brésilien (Rio Grande do Sul).

M. Jules Lenoir, Ingénieur des Mines, est Directeur de la Compagnie du Gaz de Rio.

MM. Barbier, Bénard et Turenne ont installé plusieurs phares sur les côtes de ce pays.

Il y a beaucoup à faire pour les Ingénieurs et les Constructeurs dans

ce pays. Les travaux du port de Rio de Janeiro sont commencés; ceux de Pernambuco, de Bahia et Rio Grande do Sul sont à l'étude et des concours s'ouvriront sans doute prochainement.

Il n'y a guère pour le moment que les régions avoisinant la mer qui aient commencé à s'outiller. Tout l'intérieur de ce vaste et riche pays attend qu'on le mette en valeur. Il est appelé à un avenir de prospérité merveilleuse. Là encore nous devons montrer notre esprit d'initiative.

### CHILI.

MM. Schneider et C^ie^ ont commencé, en 1889, au Chili des travaux qui seront terminés prochainement et qui consistent en fondations pneumatiques de vingt-deux ponts pour les chemins de fer de l'État et les nouvelles lignes en construction, le tout évalué avec la fourniture et la mise en place, à environ 15 millions de francs. Ils ont construit également, en 1896, la station centrale Santiago. La Société Dyle et Bacalan a fourni du matériel roulant.

Les Établissements Cail ont fourni en 1893 le matériel pour la fabrication des monnaies.

Des phares ont été construits par MM. Barbier, Bénard et Turenne.

Il y a une vingtaine de millions de francs de capital français engagés dans les mines de cuivre et une somme indéterminée dans les ateliers appartenant à des maisons françaises.

A Santiago, c'est un Français, M. Henri Dubief, qui est Directeur de l'Entreprise générale d'éclairage, chauffage et force motrice.

Notre Collègue et correspondant, M. Charles Vattier, Ingénieur-Conseil de la Société des Mines et Métallurgie, est venu nous exposer les avantages qu'il y aurait pour les Français à venir s'occuper des questions de métallurgie.

### ÉTATS-UNIS.

Nos compatriotes sont engagés dans des exploitations de mines.

La mine de cuivre de l'Anaconda.

La Compagnie des Phosphates de Paris.

Notre Collègue et ancien Président, M. L. Appert, a fondé l'Appert Glass C° pour l'exploitation et l'application de ses procédés pour la fabrication des tuyaux, vases et verres armés.

Quatre usines s'occupent actuellement de cette fabrication.

Nos Collègues, MM. Henry-Lepaute, ont construit et installé un assez grand nombre de phares sur les côtes de ce pays, ainsi qu'aux Philippines et dans l'Alaska.

Plusieurs phares ont été également construits et installés par MM. Barbier, Bénard et Turenne, tant sur les côtes des États-Unis que sur les côtes des colonies de ce pays.

### MEXIQUE.

Sur les 300 millions de capital français engagés au Mexique, près de 100 millions sont employés dans l'industrie et les mines.

L'importante mine du Boléo a pour Ingénieur en Chef M. Michot; M. Boissée est Ingénieur principal.

Notre Collègue M. Renaud dirige la mine de Quintera.

MM. Letellier et Vezin ont été chargés des travaux d'assainissement de la ville de Mexico, travaux d'une importance de 30 millions effectués en 1898.

Les Établissements de Levallois-Perret ont fourni des ponts, les anciens Établissements Cail du matériel frigorifique et du matériel divers de sucreries pour 2 400 000 f.

La Société française de Panuco installe une grande sucrerie en 1900, près de Tampico; le materiel est fourni par la Compagnie de Fives-Lille.

MM. Henry-Lepaute y ont installé et construit des phares.

Une aciérie française s'est installée à Mazatlan. Parmi les autres importantes maisons françaises, il faut citer : la fabrique de cigarettes « El buen Tono » l'une des plus grandes du monde, possédant cent vingt machines; la Compagnie électrique pour fournir à Mexico la lumière et la force motrice; la Compagnie de Force électrique et d'irrigation de l'État de Hidalgo.

MM. Barbier, Bénard et Turenne y ont construit des phares.

### Uruguay.

Grand pays d'émigration, comme l'Argentine, pour les capitaux français et pour nos nationaux : l'Uruguay compte 40 000 Français et 220 millions de francs de la fortune française. L'industrie en emploie 15 millions.

Les projets du port de Montevideo ont été dressés par M. Guérard, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Nous en avons obtenu la construction avec nos Collègues MM. Allard, Couvreux, Dollfus, Duparchy et Wiriot. L'importance est de 60 millions.

Citons en Uruguay la Compagnie française des mines d'or de Cunapiru dirigée par M. Benoist; la fonderie et les ateliers mécaniques de notre compatriote M. Voulminot.

La maison Barbier et Benard vient d'obtenir, au concours, la construction du phare de l'Ile de Lobos.

### Venezuela.

En 1889, un Hôtel des Monnaies, créé et administré par une Compagnie française à Caracas, frappe des monnaies d'or et d'argent aux titres et poids de l'Union latine.

Les Anciens Établissements Cail fournissent, en 1890, du matériel de sucreries, et construisent le wharf de Guanta. pour l'embarquement du combustible extrait des mines de Maricual et de Capiricual par la Société française des Houillères du Néveri.

La Société Dyle et Bacalan construit la ligne du Chemin de fer Santa Barbara à La Vigia de 1889 à 1892 et fournit le matériel.

Cette ligne est exploitée par la Compagnie française des Chemins de fer vénézuéliens. Cette dernière entreprise avec les Chemins de fer de Carenero absorbent 18 millions de capital français.

La Société de Fives-Lille fait également des fournitures importantes dans ce pays.

### Autres États d'Amérique.

Différents petits États de l'Amérique ont fait quelques importantes commandes à nos usines.

La Société des Ponts et Travaux en fer a fourni des caissons pour fondations tubulaires et cent soixante-dix-sept tabliers métalliques pour les chemins de fer de Porto-Rico.

La Société française de Constructions mécaniques a fourni vingt-sept locomotives pour les chemins de fer de Porto-Rico. Elle a fourni :

Du matériel de sucrerie à Porto-Rico, en Haïti, à Cuba;

Du matériel d'artillerie en Haïti;

Du matériel pour l'Hôtel des Monnaies du Guatemala.

La Société de Fives-Lille a également fourni du matériel de sucrerie au Pérou et à l'Équateur.

La Compagnie française de Navigation et de Constructions navales a fourni à Porto Rico un matériel important de dragages.

En 1902-1903, M. Vezin construit en Bolivie, pour la Compagnie de Huanchaca, un barrage sur le Rio Cayna, une canalisation de 11 km de longueur amenant une chute à l'usine de production d'énergie électrique installée par la Société Alsacienne.

MM. Baudet, Donon et Cie construisent le Collège de La Paz en Bolivie et diverses constructions métalliques à Haïti.

En terminant, je dois rappeler que la construction en béton armé peut être considérée comme constituant une industrie relativement nouvelle.

Antérieurement à 1889, ses applications étaient restées dans le domaine des travaux accessoires.

C'est en 1892 que, sous l'impulsion de deux de nos Collègues, M. Coignet, d'un côté, et M. Hennebique, de l'autre, elle prit l'essor considérable qu'on constate depuis quelques années.

Au point de vue qui nous occupe, le dernier surtout, bien qu'en appliquant le béton armé sur une vaste échelle en France, s'est attaché avec persévérance à le répandre à l'étranger.

M. Hennebique a aujourd'hui quarante-deux agences et cent quarante concessionnaires dans vingt-cinq nations différentes. Le chiffre des travaux exécutés suivant son système, à l'étranger, depuis dix ans, ne s'élève pas à moins de 40 millions.

Les travaux publics et les travaux particuliers figurent sensiblement par part égale dans l'ensemble des travaux, et c'est surtout dans l'exécution de ponts importants que la valeur de ce nouveau mode de construction s'est affirmée, aussi bien que comme procédé efficace de fonda-

tion, qu'il s'agisse de pieux en béton armé, de semelles de répartition ou de radier général sous des constructions en mauvais sol.

Il y a, dans cette expansion vigoureuse du béton armé, un effort extrêmement remarquable et tout à l'honneur de l'industrie française, car il ne faut pas oublier que c'est en France qu'est né le ciment armé, que ce sont des Français qui l'ont fait connaître à l'étranger.

Comme vous le voyez, mes chers Collègues, telle qu'elle est encore, l'intervention des Ingénieurs, des Constructeurs et des Entrepreneurs français, dans les pays étrangers, nous donne le droit d'en être fiers.

Aujourd'hui il n'y a plus guère de pays nouveaux à conquérir à l'industrie française : nous avons fait le tour du monde, nous travaillons sur toute la surface du globe.

Nous ne devons pas cependant nous endormir sur nos lauriers : nous devons veiller. L'Ingénieur français de l'avenir, appelé à porter au loin le génie de notre race, peut être un savant, un théoricien ; il doit être surtout un praticien accompli en même temps qu'un *Ingénieur commercial* de premier ordre s'il veut continuer à affirmer hautement les traditions glorieuses que nos aînés nous ont transmises. *(Applaudissements vifs et répétés.)*

## II

### PRÉSIDENCE DE M. L. COISEAU, PRÉSIDENT.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM. :

N.-E. Cadet de Vaux, ancien élève de l'École Centrale (1875), Membre de la Société depuis 1879, ancien Ingénieur du service chimique de la Compagnie Parienne du Gaz, Administrateur Délégué de la Société du Gaz Riché ;

P. Dorel, Membre de la Société depuis 1899, Chevalier de la Légion d'honneur, Ingénieur civil ;

Ch. Jablin-Gonnet, ancien auditeur des Ponts et Chaussées (1887-1888), ancien Élève des hautes études (Sorbonne), Membre de la Société depuis 1896, Ingénieur chimiste expert honoraire de la Ville de Paris, Directeur du Laboratoire de chimie et d'expertises du XVII$^{e}$ arrondissement, expert-Ingénieur chimiste près la Cour d'appel de Paris, expert en douanes au Ministère du Commerce ;

F. Le Cornec, ancien Élève de l'École Centrale (1874), Membre de la Société depuis 1897, ancien Directeur des Études pour l'achèvement du canal de Panama (Compagnie Nouvelle), Ingénieur du contrôle de la Compagnie Impériale des Chemins de fer Éthiopiens ;

L.-A. Raynaud, ancien Élève de l'École Centrale (1885), Membre de la Société depuis 1895, Ingénieur électricien.

M. LE PRÉSIDENT adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir de faire connaître les décorations, récompenses et nominations suivantes :

Officiers de la Légion d'honneur : MM. P.-L. Barbier, H.-A. Deroy, A. Mallet, Ed. Michaud et J.-J. Pillet ;

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. P. Chalon, A. Chélu-Bey, A.-H. Esnault-Pelterie, H.-J. Girard, J.-N. Jacques, A.-T. Kreiss, L. Périssé ;

Officiers de l'Instruction publique : MM. A.-A. Bouline, L. Duvignau de Lanneau, A. Lindeboom, A. Rouart, L.-G. Worms ;

Officiers d'Académie : MM. A. Algrin, L. Baudoux-Chesnon, A. du Beaufret, E. Defournel, P.-M. Flicoteaux, Ch. Gallois, L.-H. Godard-Desmarest, X. Laprade, M. Lonquéty, P.-E. Marchand, G. Meyer, Ch.-P. Milandre, I. Reiss, G. Romieu, F. Sauvaget ;

Décorations étrangères : M. H. Daydé a été nommé grand'croix du Dragon d'Annam, et M. A. Pillé, commandeur du même ordre ;

M. L.-A. Schroeder, commandeur de l'Osmanieh.

M. G. Richard a reçu, de l'Académie des Sciences, le prix Montyon de mécanique.

En outre, plusieurs de nos Collègues ont reçu de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale les récompenses suivantes :

Grande médaille d'or décernée aux auteurs français ou étrangers, des travaux qui ont exercé la plus grande influence sur les progrès de l'industrie française : Médailles de 1903 et 1904 à MM. P. Héroult et F. Arnodin ;

Médailles d'or : MM. L. Guillet et E. Schwoerer ;

Médailles de vermeil : MM. Emmanuel Farcot fils et F. Fromholt ;

Médailles d'argent : MM. A. Defauconpret, F. Colomer et C. Lordier et A. Montupet ;

Médailles commémoratives en argent : MM. G. Hersent et L. Magne.

M. LE PRÉSIDENT adresse à tous ces Collègues les félicitations de la Société et plus spécialement à M. Mallet dont nul n'ignore le dévouement et le labeur incessant.

Membre de notre Société depuis 1859, secrétaire et membre du Comité pendant de longues années, notre Collègue n'a cessé, depuis 1880, de nous intéresser d'une façon particulière et constante par les chroniques si documentées que chacun peut apprécier dans nos Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains bulletins.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que notre Collègue M. Ch. d'Albert a remis à la Société deux plis cachetés : l'un le 23 décembre, l'autre le 27 décembre 1904. Conformément aux usages, ces plis ont été déposés aux archives.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de :

MM. L. Barthélemy, G.-L.-J. Borde-Fretigny, J.-F.-J. Philbert,

G.-H.-Ch. Roux, G.-C.-A. Echenoz, Ch.-A. Boissière, comme Membres Sociétaires Titulaires, et de

M. E. Fricero, comme Membre Sociétaire Assistant.

MM. H.-A. Danicourt, H.-M. Bertrand, E.-A.-P. Canonne, G.-A.-L. Goubeau, Ch.-J. Quantin sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires ;

MM. G.-J.-B. Brégéras et C.-R.-P. Henry, comme Membres Sociétaires Assistants, et

M. Ch. Klein, comme Membre Associé.

**La séance est levée à dix heures un quart.**

*L'un des Secrétaires techniques,*
F. Clerc.

---

# PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 20 JANVIER 1905

Présidence de M. L. Coiseau, Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaitre le décès de MM. :

M.-M.-H. Desgrange, ancien élève de l'Ecole d'Arts et Métiers d'Angers (1835), Membre de la Société depuis 1858, Chevalier de la Légion d'honneur, ancien Directeur du matériel et de la traction des Chemins de fer du Sud de l'Autriche, Président honoraire de la Compagnie des Chemins de fer de Bône à Guelma et prolongements.

M. le Président rappelle que M. Desgrange, Membre de notre Société depuis 1858, fut Membre de notre Comité dix-sept ans sans interruption, de 1869 à 1889, et Vice-Président pendant trois ans. Tous ceux des Membres de notre Société qui connaissaient M. Desgrange (ils étaient nombreux, M. Desgrange étant devenu notre Collègue en 1858) ont pu apprécier la haute valeur et l'urbanité de notre regretté ancien Vice-Président ;

Th. Favarger, ancien élève de l'École Polytechnique de Vienne (1867), Membre de la Société depuis 1877, Chevalier de la Légion d'honneur, Administrateur-Directeur des Anciens Établissements Hotchkiss et C[ie] ;

P.-Ch.-L. Guillemant, ancien élève de l'École Centrale (1873), Membre de la Société depuis 1879, Ingénieur de Compagnies de Chemins de fer et d'entreprises de travaux publics ;

J. Hignette, ancien élève des Arts et Métiers d'Angers et de l'École Centrale (1867), Membre de la Société depuis 1876, Officier de la Légion

d'honneur, Ingénieur, spécialités de sucreries, distilleries, meuneries, etc., Expert près les Tribunaux;

L.-A. Yvon, ancien élève de l'École des Arts et Métiers d'Angers (1870), Membre de la Société depuis 1888, Ingénieur hydraulicien, ancien Ingénieur chef de la distribution à la Compagnie des Eaux de Constantinople.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer les décorations et nominations suivantes :

Commandeur de la Légion d'honneur : M. P.-A.-F. Jacquemart;

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. J.-C. Durey, Joseph Richard, L.-A. Tissot;

Officier d'Instruction publique : M. Dufresne;

Officiers d'Académie : MM. E. Collon, A.-A. Deguy, G.-H. Gin, E.-L. Lapersonne, F.-E. Lemaire, G. Lesourd, P. Medebielle, J. Robelet, P.-A. Schuhler;

Officier du Mérite Agricole : M.-P.-A. Guion;

Chevaliers du Mérite agricole : MM. A. Butin, Ch. Driessens, Ph. Gourdon, E. Vuillaume.

M. le Président adresse à tous ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président est heureux de faire connaître que, comme chaque année, M[me] veuve Monchot nous a fait abandon de quatre coupons des obligations de notre emprunt qu'elle possède, en souvenir de son mari, notre regretté Collègue. M. le Président lui adresse les remerciements de la Société.

M. le Président fait connaître que, conformément au règlement, les Collègues dont les noms suivent ont été nommés en remplacement de ceux qui ont été élus à des postes différents de ceux qu'ils occupaient dans le Comité :

Troisième Section : Membre pour un an : M. Hart;

Sixième Section : Président pour deux ans : M. E. Harlé; Membre pour un an : M. Arnoux;

D'autre part, tous les Secrétaires techniques sortants ont été renommés, savoir : M. F. Taupiat, Première Section, pour trois ans; M. J. Deschamps, Deuxième Section, pour trois ans; M. P. Schuhler, Sixième Section, pour deux ans.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. le Président rappelle que, dans la séance de ce jour, et conformément au règlement, il doit être procédé à l'élection de trois Membres, pris parmi les Membres de la Société, pour le Jury des Prix Giffard 1902, prorogé 1905 et Prix Giffard 1905.

Sont nommés : MM. Gustave Richard, A. Mallet, Ch. Compère.

M. G. Lesourd a la parole pour sa communication sur *les Travaux de construction des différentes lignes du Métropolitain de Paris* (avec projections).

M. G. Lesourd expose qu'il a paru au jour le jour, dans les journaux techniques ou autres, de nombreux articles sur les travaux du Métropolitain. Il cite, en outre, le livre de M. Hervieu, secrétaire général des bureaux techniques, qui contient des renseignements très précis sur les lignes nos 1 et 2 Nord.

Il a été toutefois frappé de ce qu'aucune allusion à ces importants travaux n'avait encore été faite au cours des séances de la Société, et il a pensé que le groupement méthodique de faits déjà plus ou moins connus, joints aux observations personnelles qu'il a été à même de recueillir, pourrait offrir un certain intérêt.

Il s'est assuré, avant d'entreprendre ce travail, de l'appui de M. Bienvenüe, Ingénieur en chef des travaux, qui lui a donné l'autorisation de parcourir les chantiers et de se procurer tous les renseignements dont il pourrait avoir besoin, et il lui exprime, ainsi qu'à ses collaborateurs, tous ses remerciements pour la façon absolument cordiale avec laquelle on l'a toujours accueilli.

Il expose ensuite l'ordre qu'il suivra dans sa communication, à savoir :

Historique de la question ; — Conditions générales d'établissement du réseau ; — Plan général ; — Considérations qui ont présidé à l'adoption du profil en long ; — Description générale des ouvrages types ; — Courbes ; — Déclivités ; — Description géologique du Bassin de Paris.

Description particulière des lignes nos 1, 2 Nord, 2 Sud et 3.

Il ajoute que, vu le peu de temps dont il dispose, il fera abstraction dans sa conférence de tous les chiffres et tableaux qu'on trouvera dans le mémoire beaucoup plus complet qui sera inséré au Bulletin.

Il rappelle que la Société a toujours accordé la plus grande attention au Métropolitain.

Depuis 1872, on ne compte pas moins de quarante-trois séances, au cours desquelles il en a été question d'une façon souvent exclusive. Tous les principaux projets y ont été discutés successivement, et en particulier ceux de Brame et Flachat, Haag, Revin, Jules Garnier, etc., etc.

La question prend réellement corps en 1872, sous forme d'un réseau d'intérêt général soudé aux grandes lignes.

La loi de 1880 sur les chemins de fer d'intérêt local ouvre toutefois un horizon tout nouveau, et à partir de cette époque une lutte acharnée va exister entre la Ville d'une part, les Pouvoirs publics d'autre part, pour savoir si oui ou non le Métropolitain sera concédé sous le régime de cette loi.

Ce n'est qu'en 1895 que le Gouvernement, pressé par l'approche de l'Exposition, consent enfin à concéder le Métropolitain à la Ville de Paris comme réseau absolument urbain. Le Conseil municipal charge immédiatement les Ingénieurs de faire les études nécessaires, approuve leurs projets en même temps que le cahier des charges l'année suivante, et on passe aussitôt à la période d'exécution, qui est poussée avec l'activité voulue pour livrer la ligne n° 1 à la circulation au printemps de 1900.

Avant de passer à l'examen des diverses lignes, M. Lesourd traite la question des boucliers, qui étaient destinés à jouer un grand rôle dans la construction des lignes, puisqu'ils étaient imposés pour la ligne n° 1. Il décrit en détail les seuls qui aient donné des résultats satisfaisants, c'est à-dire ceux employés dans le 1er lot. Il indique ensuite les différences capitales qui existaient dans les méthodes suivies pour le bouclier allant vers Vincennes, et pour celui allant vers Reuilly. Il dit ensuite deux mots des neufs boucliers employés dans les autres lots, et qui tous ont donné des résultats plus ou moins mauvais. Il ajoute du reste que, vu les délais très courts accordés aux entrepreneurs, il était impossible de perdre son temps à remédier aux défauts de ces appareils, et qu'on préférait les abandonner et recourir aux méthodes de boisage habituelles.

M. Lesourd aborde ensuite l'examen des diverses lignes. Pour chacune d'elles, il donne un aperçu des terrains traversés, qu'il doit à M. E. Dollot, qui a centralisé tous les documents relatifs à cette question, des divers obstacles et ouvrages rencontrés, et des travaux préparatoires nécessités par des déplacements d'égouts, de conduites d'eau, d'air comprimé, de gaz, etc., etc.

Il donnera aux annexes tous les renseignements relatifs aux longueurs, aux dépenses, aux entrepreneurs chargés des travaux, aux rabais consentis, aux dépassements, etc., etc.

En ce qui concerne ces dépassements, il indique, en passant, que le seul lot construit en régie par la Ville a atteint un dépassement supérieur à 45 0/0, tandis que les autres lots les plus difficiles, construits par des entrepreneurs, n'ont pas dépassé 25 0/0.

Il prend ensuite la ligne n° 1 et en la suivant de Vincennes à la Porte-Maillot, il indique successivement les divers ouvrages, les méthodes employées pour leur établissement, les difficultés rencontrées, les moyens adoptés pour les vaincre.

Il insiste particulièrement sur la station terminus de Vincennes avec ses briques creuses émaillées posées sur cintre en plâtre ; sur la gare de Lyon avec son raccordement ; sur les travaux de la place de la Bastille, du Châtelet et de l'Hôtel de Ville ; sur la façon dont on a utilisé le collecteur Rivoli, qui se trouvait entre l'Hôtel de Ville et la Concorde dans l'axe du tunnel ; sur les passages au-dessous des collecteurs Sébastopol et d'Asnières.

Il décrit en détail les ouvrages très importants de la place de l'Étoile, où on trouve le terminus en boucle de la ligne 2 Sud, et la traversée des lignes nos 1 et 2 Nord, ainsi que tous les raccordements de ces lignes entre elles ; ceux relatifs à la sous-station électrique, et le mode tout spécial de construction des stations Alma et Victor-Hugo.

Toutes ces explications sont accompagnées, en outre, du profil en long de la ligne qui suit d'une façon continue ; d'une série de projections, les unes techniques, les autres représentant les diverses vues photographiques prises au fur et à mesure des travaux.

Il passe ensuite à la ligne n° 2 Nord, entre l'Étoile et la Nation, et tout en procédant de la même façon, insiste plus particulièrement sur les ouvrages de l'avenue de Villiers et leurs modifications ; sur les sta-

tions en terrains fouillés comme celles d'Anvers et du Combat; il décrit en détail le viaduc, ainsi que les ouvrages très compliqués de la place de la Nation, composés de la traversée de la ligne n° 1, de la boucle terminus de la ligne n° 2 Nord, de celle de la ligne n° 2 Sud, et enfin de tous les raccordements de service entre ces diverses lignes, et des voies de garage du cours de Vincennes, qui conduisent elles-mêmes aux ateliers de la Compagnie, rue des Maraichers.

Pour la ligne n° 2 Sud, entre le Trocadéro et la place d'Italie, il décrit plus particulièrement les travaux de la station Alboni, le viaduc de Passy, avec ses fondations par caissons et les ouvrages de la place d'Italie.

Il arrive enfin à la ligne n° 3 et décrit tout spécialement l'ouvrage du croisement de la place de l'Opéra; les difficultés rencontrées rue Réaumur et rue Turbigo par suite des anciennes fondations; les particularités des stations en rues étroites, comme celle du Sentier; la traversée sous le canal Saint-Martin, avec la mise à sec temporaire de ce dernier, sa mise sur cintres, la reprise des piédroits et la confection du radier en ciment armé.

Il termine par une description détaillée des travaux de la place Gambetta, rendus extrêmement pénibles par la présence des sables boulants, et indique toutes les méthodes spéciales employées pour vaincre ces difficultés.

M. G. Lesourd ajoute que cette promenade à travers les divers travaux du Métropolitain, qu'il a dû faire beaucoup trop rapide à cause du peu de temps qui lui était réservé relativement à l'ampleur du sujet, et où, en parlant de mémoire, il a passé, dans la seconde partie surtout, une foule de points intéressants qu'il avait notés, a pu montrer à quelles difficultés, à quelle variété d'obstacles, on s'est trouvé journellement en butte, avec quelle sûreté de main, avec quelle remarquable précision on est arrivé à les surmonter et à mener à bien, sans incidents notables, sans entraves sérieuses à la circulation publique, la tâche éminemment délicate et difficile qui consistait à établir sous une ville comme Paris, le réseau si complexe des artères métropolitaines.

Et puisque M. Bienvenüe a dit, très modestement, dans la préface du livre de M. Hervieu, « que le Métropolitain avait au plus haut degré le » caractère d'une œuvre impersonnelle, résultant de la synthèse d'un » grand nombre d'efforts différents », M. Lesourd propose de comprendre dans les mêmes félicitations ceux qui ont conçu, mis au point et surveillé l'exécution d'un tel ensemble de travaux, et ceux qui ont apporté, pour leur réalisation pratique, l'appui de leurs moyens d'exécution et de leur grande expérience.

M. le Président demande si quelqu'un a quelque observation à présenter ou quelque question à poser à M. Lesourd.

Personne ne demande la parole.

M. le Président fait remarquer à M. Lesourd que, dans l'historique qu'il a présenté, il a oublié un peu le rôle joué par les Ingénieurs civils. Il rappelle que ce sont eux qui sont parvenus à faire saisir au Conseil municipal de Paris l'intérêt qu'il y aurait à construire le Métropolitain

tel qu'on l'a construit, et qu'en 1895 une concession a été donnée à un groupe d'Ingénieurs, à la tête duquel se trouvait M. Berlier, pour la ligne n° 1, laquelle a été construite suivant leur projet.

Il ajoute que cette concession n'a pas eu de suite, parce que les grandes maisons de banque n'ont eu aucune confiance dans le résultat de l'exploitation. La constatation en est un peu dure à faire, mais il faut rappeler ce fait pour compléter l'historique fait par M. Lesourd.

M. le Président termine en adressant à M. Lesourd ses félicitations et ses remerciements les plus vifs et ceux de la Société pour sa communication si intéressante et si bien documentée sur ce sujet de la construction du Métropolitain, qui est traité pour la première fois devant la Société des Ingénieurs civils, et l'a été de façon si complète.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de : MM. H.-P. Barrès, M. Bideau, H.-P.-E. Charpentier, A. Coste, M.-F. Garrido, A. Guerra Romero, Ch.-A. Henri, H. Janson, E. Jullien, H.-F.-J. Laborde, E.-J. Louche, F.-G. Marcel, A.-A.-L. Massenet, P.-M. Meyer, L.-J.-J. Renard comme Membres Sociétaires Titulaires.

MM. L. Barthélemy, G.-L.-J. Borde-Fretigny, J.-F.-J. Philbert, G.-H.-Ch. Roux, G.-C.-A. Echenoz, Ch.-A. Boissière, A. Perrot sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires, et

M. E. Fricero comme Membre Sociétaire Assistant.

**La séance est levée à 11 heures un quart.**

*L'un des Secrétaires Techniques,*
F. Clerc.

# LE NOUVEAU PORT DU ROSARIO

DANS

# LA RÉPUBLIQUE ARGENTINE

PAR

**M. Georges HERSENT**

---

Les ressources immenses qu'enferme en soi le territoire argentin n'ont commencé à être réellement mises en valeur que depuis un nombre d'années relativement restreint. Néanmoins, la grande République sud-américaine jouit déjà d'une prospérité bien assise, dont l'accroissement continu et rapide est démontré par les excellentes statistiques publiées annuellement par les soins de l'administration fédérale. Il nous a donc semblé intéressant de tracer d'abord un tableau résumé des conditions économiques de ce pays, et de justifier de sa richesse ainsi que de la réalité et de l'importance des progrès réalisés.

En second lieu, et c'est là véritablement notre sujet, nous devrons examiner si les moyens dont dispose l'Argentine pour embarquer et expédier ses produits n'ont pas cessé d'être en harmonie avec sa puissance productive présente et surtout future, et s'il n'est pas urgent de les développer. Ces moyens seront précisément évalués par la capacité et l'activité des principaux ports argentins actuels. L'un d'eux, Buenos-Aires, qui a eu un développement des plus rapides, se trouve déjà insuffisant pour le grand mouvement qu'il dessert, tandis que d'autres, et notamment Rosario, disposent d'un avenir magnifique en vertu du double avantage de la situation, au milieu des provinces les plus productives du pays et au bord même du Parana, voie de communication et de pénétration de premier ordre.

Nous saisirons alors, dans toute leur valeur, les motifs qui ont amené le Gouvernement fédéral argentin à concevoir le projet d'un grand port fluvial et maritime à créer au Rosario de Santa-Fé. Puis, après avoir indiqué l'œuvre à accomplir, nous en donnerons le plan général, les bases techniques et financières.

Enfin, nous décrirons la construction et la disposition des installations maritimes qui vont constituer ce nouveau port essentiellement moderne, dont toutes les parties auront été étudiées d'avance et combinées les unes par rapport aux autres pour former un ensemble homogène, bien adapté aux besoins qu'il doit desservir et capable de donner les résultats les plus effectifs et les plus économiques.

## Données générales sur l'Argentine. Nécessité de la création d'un grand port moderne au Rosario.

La République Argentine occupe toute la partie méridionale de l'Amérique du Sud à l'est de la chaine des Andes. Sa surface est de 2 950 000 km², soit plus de cinq fois celle de la France.

La salubrité du climat convient à l'acclimation facile de l'immigrant européen: aussi la population de l'Argentine, qui dépasse aujourd'hui cinq millions d'habitants, accuse-t-elle une progression de 40 0/0 en dix ans, alors que, pour une période de même durée, les États-Unis n'offrent qu'une progression de 20 0/0.

Presque exclusivement agricole et d'une fertilité dont on ne trouve pas d'autre exemple dans le monde entier, l'Argentine n'exploite encore que 10 0/0 de la surface cultivable de son immense territoire.

La culture des céréales, du blé, du maïs et du lin, constitue l'une des productions les plus importantes du pays, puisqu'elle a permis d'exporter, en 1904, 80 653 000 hectolitres de grains, chiffre en augmentation de 30 0/0 sur l'année 1903. L'exportation de cette dernière année atteignait déjà le double de celle de l'année précédente qui n'était que de 31 434 000 hectolitres.

L'élevage des troupeaux forme un autre élément de richesse très considérable. Un grand nombre de ces animaux sont exportés vivants, les autres abattus et congelés. Les uns et les autres viennent déja concurrencer en Angleterre, en Autriche et en Suède les produits similaires de l'Amérique du Nord et de l'Australie.

La laine donne aussi lieu à un marché très animé ; l'Argentine en a expédié environ 500 000 balles ces dernières années, c'est-à-dire près de 200 000 t.

D'autres productions et exportations importantes tendent au-

jourd'hui à prendre un rang très honorable à la suite de celles que nous venons de citer; elles comprennent le produit des vignobles, les laitages, les bois. Enfin, l'industrie elle-même commence à s'établir dans le pays. Elle est déjà représentée par des minoteries, des distilleries et sucreries, par des filatures, des tanneries, et des ateliers de construction, etc., etc. L'exploitation des mines y fait aussi ses débuts avec succès dans les provinces du nord, en bordure de la Cordillère.

A tout ce vaste mouvement de production deux grandes causes ont donné l'impulsion. En premier lieu, l'apparition et le développement constant des chemins de fer dont le réseau total représente déjà actuellement plus de 17 000 km.

En second lieu, la création du port de Buenos-Aires, dont la construction remonte à 1885, et où l'on a dépensé 190 millions de francs.

Le tonnage d'entrées et de sorties de ce port, qui en 1880 était de 645 000 t, s'est ainsi accru jusqu'à dépasser aujourd'hui 9 millions de tonnes, augmentation énorme qui suffit à rendre évidents les services considérables dont il a fait bénéficier le pays.

Étant donné que, pour nous rendre au Rosario, il faut remonter le Parana jusqu'à 300 km en amont de Buenos-Aires, il nous a paru indispensable de dire ici quelques mots de cette magnifique voie fluviale. Son parcours dépasse 4 800 km et son débit moyen annuel est estimé à 30 410 m³ par seconde. C'est une fois et demie celui du Mississipi, le quadruple de celui du Danube, le quintuple de celui du Nil et 150 fois celui de la Seine. Il prend sa source dans la région tropicale du Brésil, d'où il descend sous le nom de Haut-Parana. Dans sa partie haute, il offre 2 400 km à la navigation fluviale, puis en descendant, 500 km deviennent accessibles à la grande navigation maritime. Il se jette ensuite dans le Rio de la Plata qui présente, à cet endroit, bien plus l'aspect d'une mer que d'un fleuve; il s'étend en effet sur 200 km, jusqu'à son embouchure et offre environ 50 km de largeur devant Buenos-Aires.

La remontée de la Plata et du Parana jusqu'au Rosario se fait dans des conditions très faciles, la rivière présentant partout une profondeur minima de 21 pieds d'eau sous zéro. La navigation maritime se poursuit d'ailleurs jusqu'à 200 km en amont du Rosario. Les navires, quittant la mer, passent le chenal de Martin Garcia, puis entrent dans le Parana par l'une de ses deux bouches

les plus profondes : le Rio Guazù ou le Rio Bravo. Tout ce parcours vient d'être soigneusement balisé avec des bouées lumineuses, suivant les règles de la conférence de Washington, de sorte que le voyage peut s'effectuer de nuit aussi facilement que de jour.

La ville du Rosario, située dans la province de Santa-Fé, se trouve dans une situation des plus avantageuses, au bord même du Parana. C'est la seconde ville de l'Argentine pour l'importance des transactions qui s'y opèrent et, bien que de fondation relativement récente, elle renferme une population qui atteint déjà le chiffre de 127 000 âmes.

Son port actuel est principalement situé en amont de la ville proprement dite. C'est un mouillage naturel où les navires viennent s'aligner le long d'une falaise à pic ou « barranca », sorte d'immense muraille d'argile dure qui s'élève presque verticalement à 25 m au-dessus du niveau de l'eau. En haut sont les magasins, les silos à grains et les voies ferrées.

Les chargements des sacs s'opèrent très simplement par l'action de la gravité, au moyen de « canaletas » ou couloirs de bois suspendus à deux câbles d'acier réunissant le haut de la falaise au navire. Il existait en outre, devant la ville, des quais en bois de 650 m de longueur, et quelques installations privées.

C'est avec ces installations, faites au fur et à mesure des besoins, sans plan d'ensemble et appartenant pour la plupart à des particuliers ou à des Compagnies de chemins de fer, que le trafic du Rosario s'est développé et a prospéré jusqu'à ce jour. Il atteint d'ailleurs des chiffres déjà très respectables, puisque le mouvement du port représenté par les entrées et par les sorties de navires s'est élevé en 1904 à 4 300 000 t de jauge pour un mouvement d'importation et d'exportation de 2 855 000 t de marchandises.

Sur ce mouvement général, la navigation d'outre-mer, qui représentait, en 1881, 200 000 t de jauge (entrées et sorties) a dépassé 3 millions de tonneaux de jauge pour l'année 1904.

Ces résultats sont la conséquence naturelle d'un ensemble de conditions exceptionnelles et favorables que le port du Rosario doit à sa situation géographique, au centre même d'une immense contrée extrêmement riche et fertile, qui fournit actuellement plus de la moitié des céréales du pays tout entier. Rosario est, en effet, le débouché obligé des récoltes de presque toute la province de Santa-Fé, de toute celles de Cordoba et d'une partie de

l'Entre-Rios, trois provinces dont la superficie équivaut à peu près à celle de la France continentale.

Pour remplir ce rôle économique, d'importance vitale pour le pays, le Rosario dispose des moyens d'accès et de pénétration les plus complets et les plus efficaces qui soient. Cinq Compagnies de chemins de fer y convergent de neuf directions différentes; leur réseau, dont la création rapide a été pour le port un des plus puissants facteurs de développement, dépasse actuellement 4500 km et son extension se poursuit d'une manière, en quelque sorte, continue de façon à favoriser la mise en valeur et l'exploitation de nouvelles contrées. Enfin, et surtout grâce au Parana, le Rosario est d'un côté mis en communication directe avec la mer, tandis que de l'autre il est relié à l'intérieur par une voie fluviale de plusieurs milliers de kilomètres, qui lui amène tout le cabotage du Haut-Parana et du Paraguay.

Faute d'installations maritimes appropriées et suffisantes, une notable partie du trafic d'exportation empruntait jusqu'à présent la coûteuse voie de terre de 300 km pour aller s'embarquer à Buenos-Aires. Dans l'avenir, au contraire, toute cette exportation pourra se faire directement du Rosario au même prix que de Buenos-Aires. Il en est de même du mouvement d'importation générale du pays qui s'était jusqu'ici pratiquement centralisé dans la capitale, pour de là se répartir dans l'intérieur, et dont une partie importante semble de plus en plus choisir Rosario, comme point de débarquement direct, pour l'approvisionnement de toutes les provinces du centre et de l'ouest.

Il ne faut pas oublier que ces deux grands ports sont distants de 300 km l'un de l'autre, leurs zones d'influence sont bien distinctes, et ils sont ainsi destinés à se développer parallèlement sans se nuire. Les frets de Rosario et de Buenos-Aires en Europe tendent, d'ailleurs, à s'unifier de plus en plus.

Rosario est appelé, en outre, à profiter de toutes les améliorations que l'on a déjà faites et que l'on fera sur le Parana, ainsi que de l'ouverture de nouvelles voies navigables y aboutissant: toutes choses qui ne feront que développer le cabotage fluvial et favoriser la fréquentation des grands navires.

Il est naturel que, dans ces conditions, le Gouvernement fédéral ait conçu le projet de doter Rosario, et par conséquent les provinces productrices de l'intérieur, d'un grand port moderne, outillé selon les données les plus récentes et en rapport avec le mouvement commercial qui doit s'y concentrer. Etudié avec le

plus grand soin, ce projet fut bientôt arrêté, ainsi que les conditions suivant lesquelles devait s'opérer l'adjudication.

Puis, une loi votée à la fin de 1899, permit l'ouverture d'un concours public pour la présentation de projets relatifs à la construction du port; ces propositions devaient être appuyées d'une combinaison financière assurant toutes les garanties nécessaires à l'exécution rapide des travaux. La loi définissait, en outre, les grandes lignes de l'opération et, à titre de garantie et de rémunération du capital à engager, elle autorisait l'Administration à aliéner les revenus du port du Rosario, pendant une période à fixer dans les offres.

A la suite du concours auquel participèrent plusieurs grands établissements industriels de différents pays, MM. Hersent et Schneider furent déclarés adjudicataires et, aux termes mêmes du contrat, constituèrent une Société française pour le compte de laquelle ils ont entrepris les travaux, tandis que cette Société reste chargée du côté financier de l'opération et conserve la gestion de l'exploitation du port.

Après cet aperçu succinct de la situation économique de la République Argentine et après avoir signalé la nature et l'importance du mouvement d'importation et d'exportation de la région tributaire du port du Rosario, nous allons maintenant décrire les travaux du nouveau port, en insistant spécialement sur ceux qui présentent un intérêt particulier, tout en étant moins connus.

## Le nouveau port du Rosario.
## Description générale des travaux.

Le nouveau port s'étend devant la ville sur une longueur d'environ 4 km de la rive droite du Parana.

Il comprendra :

1° 3 500 m de quais accostables avec 6,50 m d'eau à leur pied, en contre-bas des plus basses eaux, et un bassin de cabotage ayant 370 m de pourtour, soit une longueur totale de 3 870 m de quais nouveaux, en bordure du Parana;

2° Un chenal navigable de 435 m de largeur avec 7 m d'eau sous basses eaux, pour la création duquel il sera fourni un matériel de dragage complet devant ensuite revenir à l'État;

3° Des terre-pleins clôturés, sur lesquels seront établis toutes les rues et voies de circulation, voies ferrées et gares de triage,

ainsi que la liaison entre toutes les compagnies de chemins de fer, aboutissant au Rosario;

4° Vingt-cinq entrepôts et magasins d'une surface totale de 51 500 m²;

5° Un élévateur à grains avec silos d'une capacité de 30000 m³;

6° L'outillage mécanique : soit une station génératrice d'une puissance de 1 500 ch, 37 grues électriques, des cabestans et locomotives, des bouées d'amarrage et toute l'installation de l'éclairage électrique;

7° Enfin, plusieurs bâtiments et ateliers pour le Gouvernement, la douane, la préfecture maritime et le service de l'exploitation.

*Murs de quais.* — La ligne des nouveaux quais en rivière prend son point de départ à l'extrémité aval des Quais Nationaux. Elle se dirige ensuite vers le sud suivant une courbure légèrement convexe dans son ensemble, formée d'alignements droits et de deux courbes ayant respectivement 4 000 et 5 000 m de rayon.

Le mode de construction des quais en eau profonde répond à deux types différents, l'un en maçonnerie et l'autre en bois. Les quais en maçonnerie s'étendent sur une longueur de 2450 m; les quais en bois sur une longueur de 950 m.

*Quais en maçonnerie.* — Les quais en maçonnerie sont du type de ceux construits pour la première fois au port de Lisbonne. Ils sont constitués par une succession de piliers en maçonnerie espacés tous les 16 m d'axe en axe et arasés à la cote + 1,50 m. Ces piliers sont réunis entre eux, à leur partie supérieure, par des linteaux métalliques contenant des voûtes surbaissées en maçonnerie armée. Au-dessus de ces voûtes, on construit un mur continu, jusqu'à la cote + 8 m. Un cordon d'enrochements ou de fascinages, placé en arrière du mur, ferme les espaces libres entre les piliers, absorbe une partie de la poussée des terres et maintient ainsi les remblais qui constituent les terre-pleins en arrière des quais.

Les piliers sont fondés au moyen de l'air comprimé et leurs bases reposent sur la couche de sable tertiaire dans laquelle ils pénètrent au moins de 1 m. Du km 0 au km 1,075, la profondeur des fondations a été prévue en moyenne à 23,50 m sous 0; du km 2,275 jusqu'au km 3,650, à 15,54 m au-dessous du même 0, avec un minimum de 15 m.

Au point de vue de l'exécution, les piliers sont formés à leur

## PORT DU ROSARIO

### Quai en maçonneries

Coupe en travers

Élévation — Coupe en long

### Quai en bois

Coupe en travers

### Quai du Bassin de cabotage

Coupes en travers

Echelle 0m002 p.m.

base d'un caisson métallique comportant à la partie inférieure une chambre de travail de 1,80 m de hauteur et de 5,40 m de largeur sur 11,65 m de longueur.

Le poutrage du caisson est rempli d'abord de béton de ciment, puis on exécute les maçonneries au-dessus, à l'air libre ou à l'abri de batardeaux métalliques.

Ces maçonneries sont faites en moellons ou briques avec mortier de chaux hydraulique. Lorsque le caisson a été amené à sa place définitive, il est échoué sur un terrain préalablement dragué, et ensuite enfoncé dans le sol, au fur et à mesure de l'extraction des déblais, en même temps que l'on continue à exécuter les maçonneries du pilier en dessus du niveau de l'eau. Une fois le fonçage terminé et le caisson arrivé sur un bon terrain de fondation, on remplit la chambre de travail de béton de mortier de chaux hydraulique et l'on termine l'arasement supérieur du pilier, après avoir rempli également en béton les évidements laissés pour faciliter le fonçage. Cette dernière partie du travail se fait à l'abri d'un batardeau métallique spécial.

Les linteaux sont formés de poutres à treillis convenablement entretoisées et renfermées dans une caisse rectangulaire métallique ouverte à la partie supérieure. Ces caissons ont 15,50 m de longueur, 6,25 m de largeur et 1,50 m de hauteur. Suivant les besoins du travail et pour faciliter la construction des maçonneries à l'abri de l'eau, elles sont surmontées de batardeaux métalliques. A l'intérieur de cette caisse, en construit une voûte de 12 m d'ouverture, 6,25 m de largeur et 1,30 m de flèche, avec 1,45 m d'épaisseur à la clé et 1,70 m aux retombées. Le joint existant entre deux linteaux successifs est rempli avec du béton.

La pression moyenne des piliers sur le terrain de fondation a été admise à 3,65 kg, et la pression maxima à 5,5 kg en tenant compte d'une surcharge de 2 000 kg par mètre carré de surface de quai.

Afin de ne pas dépasser ces pressions, on a dû exécuter les caissons avec un avant-bec sur le devant, de manière à augmenter la base des fondations sans donner un excès de poids aux maçonneries.

La construction de ces quais s'effectue en pleine rivière au moyen d'installations flottantes, spécialement organisées pour recevoir les matériaux ou fabriquer le mortier, et possédant les machines nécessaires à la production de l'air comprimé, à la mise en mouvement des treuils et à l'éclairage électrique. Un

chantier de fondation en pleine activité s'étend sur environ 150 m de longueur et l'on travaille simultanément sur huit ou neuf piliers à la fois.

Lorsque plusieurs piliers sont terminés, on commence à échouer sur eux les linteaux en maçonneries armées. Puis, une fois le mur rendu continu dans sa partie apparente, il suffit, pour le terminer, de construire la superstructure au-dessus de l'eau, et, en même temps de combler au moyen d'enrochements les vides entre les piliers.

*Quais en bois.* — Les quais en bois ont une longueur de 950 m; ils sont formés de palées successives espacées de 2,60 m les unes des autres; chacune d'elles est constituée de quatre pieux verticaux et d'un pieu oblique sur la façade extérieure. Les pieux sont moisés à trois hauteurs différentes au-dessus de l'eau et solidement entretoisés dans le sens longitudinal et tranversal. La partie supérieure du quai est formée d'une plate-forme de béton armé, inclinée du côté de terre. Un cordon de fascinages ou d'enrochements, déposés en arrière du quai et entre les pieux, maintient la poussée des remblais, qui viennent ensuite recouvrir le quai.

Au point de vue de la construction, leur seule particularité consiste dans l'emploi de pitchpin en dessous des basses eaux et dans l'emploi pour la partie supérieure de bois durs du pays, tels que le quebracho colorado, le curupay ou le lapacho. Ces essences sont d'une qualité extraordinaire au point de vue de la conservation et de la résistance, mais elles ont l'inconvénient de ne pouvoir être obtenues en longueurs dépassant 4 à 5 mètres, ce qui en rend souvent l'emploi difficile.

*Bassin de cabotage.* — La ligne générale des quais est interrompue sur 250 m de longueur à l'emplacement du bassin de cabotage (soit du km 1,075 au km 1,325).

Ce bassin s'enfonce d'environ 80 m dans les terre-pleins et présente un développement de 370 m de quais. Ceux-ci ont été surtout aménagés en vue de faciliter les opérations de batellerie et de petit cabotage, avec n'importe quelle hauteur d'eau de la rivière, ainsi que pour permettre le tirage à terre des bois. Ils sont arasés sur 190 m à la cote + 6 m et, pour le restant, à la cote + 4 m. La crête du quai est ensuite reliée, par une rampe pavée au cinquième, avec le niveau général de tous les terre-pleins à la cote + 8 m.

Le fond du bassin est creusé à 2 m sous zéro et les murs de quais sont formés de deux ou trois lignes de blocs artificiels superposés, fondés à 0,50 m sous zéro, sur un cordon d'enrochements de 2,50 m d'épaisseur.

*Cale de halage.* — A l'extrémité de la ligne des quais sur une longueur de 100 m il est établi une cale de halage pour le tirage à terre des navires.

La pente de la cale est de 5 cm par mètre, et sa profondeur en arrière du quai atteint 75 m. Elle doit permettre le tirage à terre de bateaux de 1 200 à 1 500 t, comme à Buenos-Aires.

La fondation de la cale en bordure de la rivière, est faite avec des piliers et linteaux convenablement arasés au niveau des basses eaux; quant au restant elle est faite en bois durs du pays.

## Régularisation et approfondissement du chenal en face du Rosario.

La régularisation et l'approfondissement du chenal en face du Rosario ont donné lieu également à des travaux préliminaires très importants. Les conditions locales méritent donc d'être mentionnées avec la solution qu'il a fallu apporter au problème.

Devant Rosario, le Parana sépare les terres hautes de la province de Santa-Fé des plaines ou des iles basses de l'Entre-Rios. Son bras principal, en amont de la ville, coule ainsi entre la barranca ou la falaise abrupte sur sa droite et l'ile Invernada sur la gauche. Il offre dans cette partie une largeur de 1 800 m. Puis, il rencontre l'île Espinillo, qui le divise en deux sur un parcours d'environ 4 km, et forme le chenal oriental ou bras principal, et le chenal occidental au pied même de la ville.

Les deux bras se réunissent à nouveau presque en face de l'origine du nouveau port et présentent alors une largeur totale d'environ 2 km; en même temps, la majeure partie des eaux du chenal occidental rejoint en cet endroit le bras oriental par le chenal de la Quebrada.

Le Parana poursuit ainsi son cours sur 4 km, lorsqu'une nouvelle fois il est divisé par l'île du Français, son bras principal restant sur la même rive que Rosario.

Le problème de la régularisation du Parana en face du Rosario, a pour principales données le maintien, par des ouvrages préventifs, de la situation actuelle du partage des eaux dans les deux

bras du Parana, puis de régulariser, approfondir et fixer d'une manière définitive le chenal des quais passant au pied même de la ville.

Il ne faut pas oublier, à ce sujet, que le débit moyen du Parana, au Rosario, pour une hauteur d'eau de 5 m au-dessus du zéro, représente 20 360 m³ par seconde et que, d'un autre côté, les crues y peuvent atteindre 6,50 m et même 7,20 m au dessus du zéro hydrographique. Ces crues sont cependant assez régulières; elles ont lieu généralement dans le premier semestre de l'année et la moyenne du niveau des eaux est à 3,70 m au-dessus du zéro correspondant aux plus basses eaux.

Pour la solution du problème à résoudre on s'est surtout inspiré du résultat des ouvrages analogues exécutés tant en Hollande, à l'embouchure de la Meuse et du Rhin, qu'aux États-Unis, pour la régularisation du cours et l'approfondissement de l'entrée du Mississipi, travaux très importants, qui ont été réalisés avec plein succès, grâce à des moyens très simples, appliqués avec méthode. Dans cet ordre d'idées, on a été d'avis de maintenir la situation actuelle du débit des deux bras, en fixant, par des ouvrages de défense en fascinages, la tête amont de l'île Espinillo, premier point de partage des eaux. De cette manière, l'entrée du chenal du port se trouvera fixée et limitée entre la barranca et ces ouvrages de protection. Quant à l'autre chenal, on a appliqué au maintien de son débit actuel un procédé employé aux États-Unis, et qui consiste à immerger à son entrée sur le fond même de la rivière une plate-forme de fascinages de 30 à 40 m de largeur, dont les extrémités atterrissent aux deux rives. Cette plate-forme, une fois solidement fixée au sol par le poids des enrochements, empêche toute érosion du fond dans la section d'entrée et, par conséquent, limite le débit de ce bras à ce qu'il était.

Dans le même esprit, des ouvrages en fascinages doivent fixer la tête en amont de l'île du Français, afin de ne pas modifier la situation actuelle des deux autres bras en aval de la ville.

La régularisation du chenal des quais constitue, en réalité, le travail le plus important de cette partie des améliorations du port; elle consiste dans le rescindement d'une partie de l'île Espinillo de manière à élargir un peu l'entrée du chenal; puis, à creuser devant la nouvelle rive des quais un chenal de 435 m de largeur au zéro, et 360 m au plafond, avec 7 m de profondeur sous zéro, et 6,50 m le long des quais.

Pour maintenir le courant dans ce chenal on établira une digue de direction submersible, distante de 700 m environ des quais et se dirigeant parallèlement à eux sur une longueur d'environ 2560 m. Cette digue prend son origine en aval de l'ile Espinillo, coupe le chenal de la Quebrada et doit ainsi assurer pendant les eaux basses un volume d'eau important dans le chenal des quais.

Au point de vue de l'exécution, les travaux de protection des rives et du fond sont faits au moyen de plates-formes en fascinages, construites avec du saule ou autres espèces de bois analogues que l'on trouve sur les bords du Parana. Les matelas de fascines sont réalisés dans les mêmes conditions qu'en Hollande ou sur le Mississipi; ils ont une épaisseur approximative de 0,60 m et leur immersion est opérée en les chargeant de sable et de 50 kg environ de pierres par mètre carré.

La digue de direction est construite avec des plates-formes de fascines, échouées les unes sur les autres, en observant du côté du chenal un talus de un et demi de base pour un de hauteur. La première plate-forme repose directement sur le sol qu'elle fixe et l'on rachète ensuite les inégalités du terrain avec des plates-formes spéciales. La partie supérieure de la digue à 5 m de largeur, et son arasement a été prévu à la cote + 3,70 m, soit à la hauteur du niveau moyen des eaux; du côté opposé au chenal, la digue est appuyée contre des déblais provenant des dragages.

Le volume total des plates-formes en fascinages, pour ouvrages de protection et pour la construction de la digue de direction, atteindra environ 280 000 m³.

Les déblais provenant de la régularisation du chenal sont formés en majeure partie de sables mélangés quelquefois d'argile; ils sont extraits par des dragues, puis refoulés ou transportés directement en arrière de la ligne des quais pour y former les terre-pleins; l'excédent des déblais est refoulé à proximité du lieu d'extraction dans des emplacements où sa présence n'offre pas d'inconvénient.

Le volume des dragages à réaliser s'élève à 7 millions de mètres cubes et celui des remblais à 4 352 540 m³.

Le chenal, une fois régularisé, doit être balisé au moyen de sept balaises fixes placées le long de l'île Espinillo et de la digue de direction.

Une ligne de dix bouées indiquera en plus la largeur de ce che-

nal, dont les extrémité amont et aval seront éclairées par un feu à la tête de l'ile Espinillo et une bouée lumineuse à l'extrémité de la digue. Dix coffres d'amarrage mouillés parallèlement à la ligne des quais facilitent, en outre, l'accostage des navires.

Le matériel de dragage pour l'exécution de ses travaux comporte :

1° Une drague marine de 700 ch de force, capable de refouler les déblais dragués ou de les débarquer latéralement en bateaux;
2° Deux dragues suceuses, porteuses et refouleuses de 600 ch de force, et d'une capacité de 500 m³ chacune;
3° Une conduite flottante de 1 000 m de longueur et 0,650 m de diamètre;
4° Deux remorqueurs de 250 ch;
5° Trois grands chalands à clapets de 250 m³;

Tout ce matériel, compris dans le contrat, deviendra, après l'achèvement des travaux, la propriété du Gouvernement qui conserve à sa charge l'entretien des fonds.

En outre, trois autres dragues, des bateaux porteurs et des remorqueurs complètent le matériel nécessaire à l'exécution des travaux de dragage.

Voici succinctement les données principales d'établissement des trois dragues qui seront fournies au Gouvernement Argentin :

Drague marine à godets : longueur 47,50 m, largeur 9,50 m; creux, 4 m; tirant en charge, 3 m; capacité des godets, 650 l; vitesse de passage, 15 godets à la minute; rendement théorique, 583 m³ à l'heure; deux machines à vapeur compound de 350 ch chacune; deux chaudières de 120 m² de surface de chauffe, timbrées à 8 kg; limite de profondeur des fonds dragués 12 m.

Dragues suceuses : longueur 60 m, largeur 9,80 m; creux 4,10 m; tirant maximum en charge, 3,90 m; capacité des puits à déblais, 500 m³; remplissage ou vidange de ces puits par la pompe à sable du bord en vingt-cinq minutes; profondeur maxima des fonds dragués 15 m; machine à triple expansion de 600 ch; deux chaudières marines de 125 m² chacune, timbrées à 12 kg; vitesse de marche environ 18 km à l'heure.

## Magasins, entrepôts, voies ferrées et chaussées. Raccordements avec les Compagnies de chemins de fer.

Le port est pour ainsi dire divisé en deux parties; l'une, à l'amont, en communication directe avec la ville est réservée à l'importation, l'autre, à l'aval, est réservée à l'exportation; la partie la plus resserrée du milieu devant servir au cabotage local et accessoirement à l'exportation.

D'une manière générale, l'aménagement des terre-pleins a été basé sur l'accostage de navires de 100 m de longueur et tout a été disposé pour rendre les opérations de pareils navires aussi rapides que possible. D'abord, sur tout le front de la ligne des quais, règne une bande libre de 10 m de largeur pour faciliter les opérations d'embarquement et de débarquement. Puis, viennent deux lignes de hangars ou magasins très bien desservis par des rues et par des voies ferrées.

Ils sont groupés au maximum par huit, ce qui correspond à une longueur de quai ne dépassant pas 400 m; les voies ferrées du quai ou des magasins sont ainsi très facilement dégagées au moyen de voies transversales et de transbordeurs, en même temps qu'on laisse entre les groupes de magasins des surfaces libres, directement accessibles aux navires et très utiles pour les dépôts à ciel ouvert de charbon, bois, machines agricoles, etc. En arrière de cette bande de 75 m de largeur, longeant presque partout la ligne des quais, règne une grande voie de circulation pour voiture, puis viennent des voies ferrées de circulation, des voies de triage et des terrains pour dépôts particuliers.

Le type de magasin adopté est à peu près partout le même : les dimensions principales sont de 80 m de longueur sur 25 m de largeur, représentant une surface couverte de 2000 m²; quant à la hauteur, du sol jusqu'à l'entrait des fermes, elle est de 6,30 m.

Les charpentes des hangars sont entièrement métalliques et constituées par la juxtaposition dans le sens de la longueur, de fermes de 13,30 m de portée, écartées dans le sens de la largeur, de 8,35 m ou de 6,25 m les unes des autres.

Certains de ces hangars sont recouverts entièrement de tôles ondulées, aussi bien sur le toit que latéralement : c'est de ce type que sont tous les hangars de l'exportation. D'autres ont les parois

en briques et la couverture en tuiles. En outre, les magasins de l'importation ont l'aire surélevée au niveau des wagons et forment quai d'embarquement; quelques-uns ont des caves.

Les hangars entièrement métalliques pèsent 53 kg par mètre carré y compris parois et fermetures; les autres, dont les charpentes sont renforcées, mais où n'entrent pas de tôles ondulées, pèsent 50 kg par mètre carré.

Les magasins du port se répartissent comme suit :

A l'*Importation* : six hangars entièrement métalliques à plancher surélevé;

Six magasins avec parois maçonnées, couverture en tuiles et plancher surélevé, dont trois avec caves ;

Un magasin pour matières inflammables; soit une surface couverte de 25 500 m² ou de 31 500 m² de plancher, en y comprenant la surface des caves.

Au *Cabotage* : deux hangars entièrement métalliques de 40 m sur 10 m, soit 800 m² de surface.

Et à l'*Exportation* : dix magasins entièrement métalliques d'une surface de 2 000 m² chacun, représentant une surface de 20 000 m².

La surface totale de plancher pour magasinage se trouve donc être de 52 300 m², ce qui permet d'abriter un volume d'environ 200 000 m³ de marchandises.

En arrière de la ligne des quais et à une distance d'environ 70 m, est établie une grande voie de circulation pour voiture, en communication, d'une part, avec la ville et, de l'autre, avec les différentes rues secondaires accédant aux quais et aux magasins. L'ensemble des chaussées pavées et empierrées représente une surface de 100 000 m².

Les voies ferrées du port ont 1,67 m ou bien 1 m d'écartement et quelques-unes sont à trois rails pour permettre le passage de tous les wagons.

Leur longueur totale représente 74 km de rails. Elles sont reliées avec les Compagnies du Central Argentin, du Buenos-Aires à Rosario et de l'Ouest Santafecino (voies de 1,67 m) et avec les Compagnies du Cordoba à Rosario et de la province de Santa-Fé (voies de 1 m).

L'ensemble des terrains du port est limité par une large avenue de 50 m dont ils sont séparés par une grille en fer de 3 m de hauteur.

## Élévateur à grains.

Le grand mouvement d'exportation du Rosario, comme on a pu s'en rendre compte par les statistiques, est surtout constitué par des céréales : blé, maïs et lin. Son importance a atteint, en 1904, le chiffre énorme de 2 millions de tonnes, soit plus de 28 millions d'hectolitres. Et, grâce à la mise en culture continuelle de terres nouvelles ainsi qu'à l'amélioration des moyens de transport, de magasinage et d'embarquement, on peut prévoir, sans exagération, que les quantités actuelles de céréales exportées par Rosario doubleront avant peu d'années.

Il s'agissait donc d'outiller le nouveau port pour qu'il fût en mesure de recevoir, manutentionner, magasiner et expédier des quantités très importantes de céréales, dans les meilleures conditions possibles d'économie et de rapidité.

On a prévu, dans ce but, la construction de vastes silos munis d'un très puissant outillage susceptible de faire automatiquement toutes les opérations.

Voici, d'ailleurs, les données principales de cette installation :

1° Capacité des silos 30 000 m³;

2° Réception, par voies ferrées, de 500 t de céréales par heure, y compris pesage et mise en silos;

3° Réception, par voie fluviale, de 50 t de céréales à l'heure, y compris débarquement, transport, pesage et mise en silos;

4° Expédition par bateau de 1 000 m³ par heure, soit de 750 à 800 t de céréales, y compris transport, pesage et embarquement, un quart de cette quantité, soit 250 m³ par heure, devant pouvoir être ensaché avant embarquement;

5° Ensachage direct des céréales contenus dans les silos et expédition par voie ferrée, à raison de 100 m³ par heure;

6° Transvasement d'un silo dans un autre pour aérer les grains;

7° Nettoyage et dépoussiérage des céréales à raison de 200 à 250 t par heure;

8° Séchage des grains, à raison de 80 t par heure.

*Disposition des bâtiments, mode de construction* (voir planches). — L'emplacement de l'élévateur a été fixé au centre de la partie du port spécialement réservée à l'exportation, et le bâtiment principal comprenant les silos a été placé à une distance d'environ

100 m du quai, afin de faciliter son accès par voie ferrée sans nuire au trafic général des quais. La réception mécanique des céréales arrivant par voies ferrées est faite le long de la façade opposée à la rivière, tandis que leur expédition est effectuée au moyen d'une passerelle transversale aboutissant au quai.

Le bâtiment principal de l'élévateur est divisé en trois parties : à droite et à gauche, les silos pour l'emmagasinage des céréales, au centre, le pavillon renfermant tout le mécanisme des manutentions, les appareils d'élévation, de pesage, de nettoyage et de séchage.

Les dimensions de ce bâtiment sont approximativement les suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Longueur . . . . . . . . . . . . . . . . . | 94 | m. |
| Largeur . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 28 | » |
| Hauteur des ailes réservées aux silos. . . . | 30 | » |
| Hauteur de la partie centrale du bâtiment. . | 40 | » |

Les dimensions des silos sont : 3,86 m sur 3,86 m pour une hauteur de 16,50 m, ce qui représente pour chaque compartiment un volume d'environ 250 m³. Chaque aile du bâtiment comportant 60 silos, cela correspond comme capacité totale, pour les 120 silos, à 30 000 m³.

Le fond des silos est surélevé de 5 m au-dessus du plancher inférieur du bâtiment, afin de faciliter les opérations de vidange des silos, et le niveau de ce plancher est à hauteur de la plate-forme des wagons, de manière à constituer latéralement un quai d'embarquement.

Le pavillon central comporte sept étages, dont les hauteurs inégales sont appropriées à l'encombrement des appareils qu'ils contiennent.

Le mode de construction adopté pour le bâtiment principal de l'élévateur consiste en une combinaison judicieuse de l'emploi simultané ou séparé de la maçonnerie, du béton armé ou de charpentes métalliques, de manière à avoir des constructions solides, relativement légères et autant que possible à l'abri des incendies.

Les fondations sont constituées par un radier général en béton armé ou par des pilotis suivant la nature du terrain.

Les silos reposent sur ces fondations par l'intermédiaire de fortes colonnes métalliques et de murs en maçonnerie tous bien reliés ensemble, à leur partie supérieure, au moyen d'un poutrage en gros fers profilés. Les parois verticales des silos sont en

béton armé et leur partie inférieure est fermée par une trémie métallique.

La charpente supérieure de l'élévateur est entièrement en fer et la couverture ainsi qu'une partie des parois latérales sont en tôles ondulées galvanisées.

Extérieurement au bâtiment principal et le long de toute sa façade opposée à la rivière règnent deux tunnels d'environ 3 m de largeur sur 2 m de hauteur; ils sont destinés à la réception des grains arrivant par wagons. Cette installation est couverte par une charpente légère, en fer et tôles ondulées, pour assurer les opérations par temps de pluie.

La passerelle de communication entre l'élévateur et le quai a environ 100 m de longueur pour une section de 4 m de largeur et 2 m de hauteur. Elle aboutit à la partie supérieure d'un bâtiment annexe placé en bordure du quai, et constitue, en réalité, une sorte de tunnel en tôles ondulées dont l'ossature principale est formée de poutres à treillis de 16 m de portée reposant sur des supports métalliques.

Le bâtiment annexe du quai, qui est également construit en pan de fer et tôles galvanisées, a plusieurs étages pour recevoir des appareils de réception, de pesage, d'ensachage et d'expédition.

Des deux côtés de ce bâtiment aboutissent deux passerelles métalliques régnant le long des quais et permettant le chargement direct des grains dans les navires sur 256 m de longueur.

Nous allons maintenant passer en revue les opérations qui peuvent s'effectuer dans l'élévateur, en indiquant sommairement la disposition générale des appareils employés à cet effet.

*Réception par voie ferrée.* — La réception a été prévue pour des arrivages de grains en sacs, et pour des arrivages par wagons silos; les voies sont installées pour recevoir des wagons à la voie de 1,676 m et ceux de la voie de 1 m.

On a également prévu la réception de plusieurs sortes de grains en même temps et, à cet effet, le déchargement des wagons peut se faire sur deux voies parallèles, en quatre points à la fois. L'installation de la réception comprend : quatre bandes porteuses parallèles au bâtiment, dont deux de chaque côté du pavillon central, capables de recevoir chacune 125 t de céréales par heure, et quatre bandes transversales de même capacité pla-

cées deux par deux au-dessus l'une de l'autre et pouvant apporter les grains de chacune dans le réservoir d'un élévateur.

La puissance totale de réception admise étant de 500 t à l'heure on a disposé, dans la partie centrale du bâtiment principal, quatre chaînes à godets pouvant élever chacune 125 t à l'heure jusqu'à l'étage supérieur. De là, les grains peuvent ensuite être, à volonté, pesés automatiquement et mis en magasin, ou dirigés directement dans les silos.

Pour simplifier la construction, les élévateurs de 125 t ont été coupés vers le milieu de manière à former un relai intermédiaire, ils comprennent donc huit chaînes à godets distinctes.

Au sortir des bascules, placées en haut du pavillon central, les grains sont versés sur des bandes qui les transportent, à droite ou à gauche, au-dessus des silos.

*Réception par voie fluviale.* — La quantité à débarquer dans ces conditions a été prévue de 50 t à l'heure, chiffre qui pourra être augmenté ultérieurement par l'adjonction d'autres appareils dans le cas où le trafic viendrait à se développer.

L'appareil employé au déchargement des bateaux se compose d'une chaîne à godets suspendue à un balancier et fixée contre le bâtiment du quai. Les grains ainsi dragués dans un bateau arrivent au pied d'un élévateur fixe, de même puissance que le précédent, qui les remonte jusqu'en haut du bâtiment du quai, et là ils peuvent être pesés ou envoyés directement aux silos.

On peut encore, si on le désire, faire passer ce grain sur les rubans des passerelles de chargement et l'embarquer sur un autre navire, ou bien le mettre en wagons, soit en sac, soit en vrac.

*Expédition par le fleuve.* — La quantité à embarquer par heure est fixée à 1 000 m³ effectifs, soit 750 à 800 t à l'heure, à provenir, soit entièrement des silos, soit partie de la réception par wagon ou par bateaux, et partie des silos.

Le plus généralement l'expédition se fera de la manière suivante :

Les silos se videront par le bas dans des tuyaux qui déverseront le grain sur des bandes porteuses installées en contrebas du plancher inférieur. Ces bandes, au nombre de quatre, et d'une capacité de 200 t chacune, sont placées à raison de deux dans chaque aile, et elles desservent ainsi chacune trente silos.

Au sortir de ces bandes porteuses, le grain sera repris par quatre élévateurs courts de 200 t à l'heure chacun, et sera reversé sur deux fortes bandes allant au quai. La capacité de ces bandes sera de 400 t à l'heure. La force nécessaire à leur fonctionnement exigera une machine de 50 ch par bande.

De la partie supérieure du bâtiment du quai, où il aura ainsi été amené, le grain passera d'abord dans les bascules, puis il sera conduit sur deux bandes porteuses de même puissance, placées dans les passerelles d'embarquement.

Pour la facilité des chargements, l'opération pourra ainsi s'effectuer simultanément dans deux ou trois navires à la fois, et même dans six navires, si l'on désire charger des navires, accostés en deuxième ligne.

La disposition qui vient d'être décrite est prévue pour l'embarquement en vrac mais, suivant la demande, on pourra aussi mettre en sac et embarquer de cette manière jusqu'à 200 t par heure, soit en bateau, soit en wagon.

*Mise en sacs dans l'élévateur.* — Pour l'expédition par wagons des céréales contenues dans les silos, on se servira de tubulures spéciales placées sous les silos, et l'ensachage sera fait par bascules automatiques mobiles d'une puissance totale de 100 m$^3$ à l'heure.

*Transvasement d'un silo dans un autre.* — Pour faire passer les céréales, d'un silo dans un autre, soit pour les aérer, soit pour mélanger ou réunir le contenu de plusieurs compartiments, on se servira des bandes porteuses inférieures ou supérieures et des chaines à godets.

*Nettoyage et dépoussiérage des céréales.* — Un premier nettoyage grossier s'effectue à la réception des grains au moyen de grillages à larges mailles placés sur les trémies de réception. Puis un deuxième dépoussiérage partiel se trouve réalisé, pour ainsi dire d'une manière automatique, par des ventilateurs placés à la tête des élévateurs.

Mais l'opération de nettoyage complet s'effectue, dans quatre appareils spéciaux dont la puissance totale permet de nettoyer 200 à 250 t par heure, chiffre très considérable et presque inusité dans une installation unique. Cette opération est facultative.

Ces appareils étant placés vers le milieu de la hauteur du pa-

villon central, le grain à nettoyer peut venir, soit directement des bascules automatiques supérieures, avant l'ensilage, soit des silos, soit même du quai.

*Séchage des grains.* — La chaleur nécessaire au séchage provient d'un calorifère installé, par mesure de précaution, en dehors du bâtiment principal. Les grains sont amenés méthodiquement dans de grandes colonnes verticales où ils trouvent une couche d'air chaud dont la température est réglée de manière à ne pas leur faire perdre leurs propriétés de germination; puis ils sont rafraîchis par un courant d'air froid pour permettre de suite la mise en sacs ou le magasinage.

L'installation du séchage est prévue pour 80 t.

*Force motrice. — Éclairage. — Installations complémentaires de l'élévateur.* — La mise en mouvement de chaque appareil ou groupe d'appareils sera opérée par des dynamos réceptrices Schneider, dont le courant à 600 volts est produit par la station centrale du port, et chaque moteur comporte ses appareils de mise en marche.

En outre, deux postes de commande, l'un dans le bâtiment central et l'autre dans le bâtiment annexe du quai, permettront la mise en route séparée, simultanée ou successive, de tous les appareils concourant à la même opération.

Ces postes seront reliés téléphoniquement entre eux ainsi qu'avec les différents étages, ils seront également munis de signaux avertisseurs et de tableaux permettant de contrôler à tout moment l'état de marche de chaque appareil, afin de pouvoir éviter toute accumulation de grains, en cas d'arrêt d'un appareil quelconque.

Toute l'installation est éclairée électriquement et peut, à l'époque des exportations, assurer un service continu de jour et de nuit.

Pour la facilité des communications entre les différents étages, il y aura un escalier et un ascenseur; en plus, un treuil spécial installé dans le pavillon central permettra d'effectuer tous les levages de pièces lourdes depuis le bas jusqu'en haut en utilisant des ouvertures pratiquées à cet effet dans les différents planchers.

## Outillage de manutention.
## Station génératrice d'électricité.

En dehors des appareils spéciaux annexés à l'élévateur à grains, l'outillage de manutention du nouveau port comprend :

35 grues électriques mobiles de 1 500 kg de puissance;
1 grue fixe à 2 puissances de 5 et 10 t;
1 grue fixe à 3 puissances de 10, 20 et 30 t;
20 cabestans électriques;
4 chariots transbordeurs;
2 bascules pour wagons;
1 cabestan pour tirer les bateaux sur la cale de halage;
3 locomotives.

Les grues, de 1 500 kg sont à portiques, de manière à laisser passer les wagons entre les montants qui les supportent, et elles peuvent se déplacer sur une voie spéciale de 4,80 m d'écartement, encadrant la voie ferrée en bordure du quai.

Les données principales d'établissement de ces grues sont les suivantes :

Les montants des portiques laissent entre eux un espace libre de 4,25 m. La portée de la flèche depuis l'axe de rotation est de 12,40 m de manière à pouvoir lever des poids situés jusqu'à 10 m en dehors de la façade des quais. L'axe de la poulie supérieure de la grue est à 13,75 m au-dessus de la voie.

La force motrice est électrique et le mouvement de levage est assuré par un électromoteur de 10 ch tournant à une vitesse de 545 tours-minute, sous une tension de 600 volts. Le mouvement est transmis au tambour d'enroulement du câble de la grue au moyen d'engrenages, et la vitesse de levage pour la charge de 1 500 kg est réglée à 40 m à la minute. Un deuxième électromoteur de 3 ch permet d'effectuer la rotation complète de la grue en 35 secondes. En plus, des prises de courant sont établies sur le quai, tous les 35 m, de manière à pouvoir alimenter facilement une grue dans n'importe quelle position.

Les grues de 10 et 30 t sont installées à poste fixe sur de bonnes fondations. Le câble de levage est enroulé sur des moufles et manœuvré au moyen d'un treuil mû par un électromoteur. Les flèches de ces grues sont à portées variables.

La force nécessaire pour actionner l'outillage du port, grues,

cabestans et tous les appareils de manutention de l'élévateur, ainsi que le courant pour l'éclairage électrique, sont fournis par une station génératrice centrale.

Afin de réaliser une exploitation très économique, l'emplacement de cette usine a été choisi, autant que possible, à proximité de l'élévateur à grains, c'est-à-dire près du centre de consommation de courant le plus important.

La puissance de l'usine est de 1 500 ch et elle est assurée par cinq groupes électrogènes de 300 ch chacun, fournissant le courant continu sous une tension de 600 volts.

La vapeur est produite par six générateurs multitubulaires timbrés à 8 kg et de 200 $m^2$ de surface de chauffe qui actionnent cinq machines à vapeur du type Corliss. Ces machines sont monocylindriques et horizontales, leur piston a 0,650 m de diamètre pour une course de 1,250 m, elles font 60 tours par minute et peuvent marcher avec ou sans condensation.

Les dynamos sont du type Schneider hexapolaires à courant continu, chacune d'elles formant avec une machine à vapeur une unité électrogène de 300 ch. L'usine comprend quatre unités similaires et un dernier groupe, qui diffère des autres en ce qu'il comporte deux dynamos de 150 ch montées sur le même arbre; ces deux génératrices pouvant être couplées en série ou en parallèle constituent un groupe de réserve.

La transmission entre les machines à vapeur et les dynamos correspondantes a lieu par courroie et la vitesse ainsi imprimée aux génératrices électriques est de 325 tours par minute. La distribution du courant est à trois fils et la tension est de 600 volts sur chaque pont.

Une batterie d'accumulateurs de secours, de 700 éléments, et d'une capacité de 90 ampères-heure, assure le service en cas d'arrêt momentané.

Il faut ajouter que l'éclairage du port comportera 90 lampes à arc et environ 4 000 lampes à incandescence qui seront distribuées suivant les besoins du trafic.

## Exécution des travaux.

Nous venons de décrire succinctement les parties intéressantes du travail en insistant plus particulièrement sur celles qui ont un caractère de nouveauté, soit par leurs dispositions, soit par leurs proportions. Nous ajouterons que ces travaux, dont le coût

sera de 58 millions de francs, ont été divisés en deux sections.

La première section comprend les travaux les plus importants qui doivent permettre de donner immédiatement satisfaction aux nécessités actuelles du commerce et de la navigation. La deuxième comprend, au contraire, tout le complément des installations, telles qu'elles ont été prévues et définies ci-dessus.

Les délais d'exécution sont de six années pour la première section et de quatre pour la deuxième. Mais déjà les recettes actuelles de l'exploitation font présumer que l'on commencera les travaux de la deuxième section avant l'achèvement des premiers.

Les différents travaux du port ont été répartis entre MM. Hersent, pour environ les trois quarts de l'importance totale, et MM. Schneider et C^{ie} pour environ un quart.

MM. Hersent construisent les quais, font les dragages et les remblais ainsi que la fourniture du matériel de dragage, toutes les maçonneries des bâtiments, des hangars et de l'élévateur, les voies ferrées, chaussées, installations diverses, etc.

MM. Schneider et C^{ie} fournissent, de leur côté, les parties métalliques et mécaniques, les charpentes en fer des bâtiments, des hangars et de l'élévateur, les grues électriques, toutes les machines de la station génératrice.

Le contrôle technique de la construction est placé sous la haute direction de M. Lange, directeur général des travaux hydrauliques, et de M. A. Piaggio, Ingénieur très distingué du Ministère des Travaux publics.

## Avancement des travaux à fin 1904.

Tout le matériel et les installations nécessaires à l'exécution des travaux tels que : train de dragage, remorquage et chalands pour le transport des matériaux, installations d'air comprimé, batardeaux, mâtures flottantes de 60 t, 30 t et 10 t, sonnettes à vapeur, ateliers de réparations et outillages divers, carrières et briqueterie ainsi que les matériaux et approvisionnements nécessaires à la marche régulière et normale des travaux sont, dès à présent, réunis à Rosario. Tous les chantiers sont en plein travail et l'on peut, dès maintenant, apprécier l'époque de la réalisation de chaque partie de l'œuvre *(Pl. 103, fig. 1 à 6)*.

Ainsi, la réparation des quais, la construction de quatre han-

gars neufs et l'aménagement des terre-pleins, en amont du kilomètre 0, sont entièrement terminés et en exploitation.

Les murs de quai de la darse de cabotage sont presque achevés sur 350 m de longueur et il reste à faire les remblais pour pouvoir s'en servir;

Les murs de quai, en bois, en aval de la darse de cabotage, sont presque terminés sur 800 m de longueur;

Les murs de quai en maçonnerie ont été commencés en face l'élévateur et deux chantiers de fonçage des piliers fonctionnent simultanément;

L'usine électrique est, en partie, édifiée, ses machines sont en montage et, d'ici peu, elle fonctionnera avec 900 ch de force;

Six grues électriques sont en service et dix autres en montage;

La machinerie complète de l'élévateur et les charpentes métalliques du bâtiment sont à moitié achevées et leur montage sera commencé d'ici quelques mois.

Tous les travaux de dragages, remblais et fascinages sont en pleine activité, sous la direction d'entrepreneurs hollandais, MM. van Haaren et Ackermans.

Un premier chenal de 100 m de largeur a été creusé en bordure de la nouvelle rive, et des terre-pleins importants sont déjà réalisés. La construction et l'échouement de plates-formes en fascinages se fait à raison de 10 000 m² par mois, et cette production sera incessamment augmentée de moitié.

Deux importantes carrières ont été organisées pour fournir environ 10 000 m³ par mois, et l'on achève l'installation d'une briqueterie mécanique avec fours continus, dont la fabrication doit atteindre un million de briques par mois.

En résumé, la période la plus délicate d'une entreprise, c'est-à-dire celle des études définitives, des installations et de la mise en route des chantiers, est terminée et la marche normale des chantiers réalisée.

Plusieurs centaines de mètres de quais ont déjà été remis au service de l'exploitation et d'autres doivent l'être incessamment.

Quelques photographies des chantiers, que nous reproduisons plus loin, montreront d'ailleurs, mieux que toute explication, la situation actuelle des travaux.

## Exploitation du port.

La description des travaux du port étant faite, il nous reste à donner un aperçu des conditions de son exploitation et à définir le régime dont il sera favorisé.

Dans son ensemble, la concession de l'exploitation comporte le monopole de la perception : des droits d'entrée et d'ancrage, des droits de stationnement, d'éclairage et de magasinage, des taxes de manutention et de grues, de traction et de circulation sur les voies ferrées et routes du port, des tarifs spéciaux pour l'embarquement, le débarquement et le magasinage des céréales et autres produits du pays, tels que bestiaux, bois, laines; enfin, la location pour dépôts des terrains situés dans la zone du port.

Les magasins et installations de la concession deviennent les uniques entrepôts du port et de la ville du Rosario. Les marchandises y seront admises en franchise et n'auront à acquitter les droits fiscaux qu'au moment de leur sortie de l'enceinte du port, si elles sont expédiées par voie ferrée, ou au moment de leur embarquement, si elles sortent par voie fluviale.

Toute l'enceinte du port constituera un vaste entrepôt où les marchandises pourront être warrantées. Pendant leur séjour, elles pourront être aussi subdivisées, changées d'emballage, améliorées et transformées au gré de leur propriétaire, sous le simple contrôle oculaire d'un vérificateur fiscal et à la seule condition qu'il en soit fait mention sur les registres de la douane. Le régime douanier, tel qu'il vient d'être défini, est, en réalité, celui des « zones franches » tant préconisé et réclamé dans ces derniers temps pour beaucoup de nos grands ports d'Europe.

Enfin, les règlements ont été établis de manière à faire bénéficier le commerce des plus grandes facilités compatibles avec un service rapide et régulier. Et l'entreprise concessionnaire étant considérée en tout comme représentant de l'État dans l'exploitation du port, ses facultés et ses droits sont, en conséquence, les mêmes que ceux attribués aux services publics chargés de ces fonctions. Elle peut ainsi requérir l'assistance de la police maritime, avoir, si elle le désire, son corps de pilotes patentés, et exproprier pour cause d'utilité publique avec le concours de l'État.

Les tarifs du port sont ceux appliqués au port de Buenos-Aires, ils sont payables en or ou en monnaie nationale à un change

fixe; ce qui supprime tout aléa et variation dans la perception. Les navires fréquentant le port du Rosario ne sont soumis qu'aux seules taxes de la concession à l'exclusion de tous les autres droits.

Comme conséquence du contrat, toutes les concessions particulières de quais et de magasins accordées jusqu'ici dans le port ont été révoquées, et les tarifs seront appliqués à tous les navires entrant ou séjournant dans ses eaux sur une étendue d'environ 13 km devant la ville.

La zone attribuée à l'application des tarifs du port est comprise entre le ruisseau Saladillo, en aval, et le ruisseau Ludueno, en amont, sur 1 500 m de largeur à partir de la rive. En outre, il est accordé une zone de protection, qui embrasse 20 km en amont et 20 km en aval des limites du port, zone dans laquelle aucune opération d'outre-mer ne peut s'effectuer sans accord préalable avec l'entreprise concessionnaire.

Toutefois, les Compagnies de chemins de fer aboutissant au Rosario sont reliées avec les voies du port dont les installations deviennent, en réalité, une véritable gare maritime à l'avantage de chacune d'elles.

Le balisage et l'éclairage sont d'autres améliorations qui peuvent faciliter considérablement les opérations d'accostage ainsi que rendre plus rapides les chargements et les déchargements.

Comme on peut s'en rendre compte, toutes les installations ont été disposées en vue de rendre les opérations des navires aussi rapides et économiques que possible et nous ne doutons pas que l'expérience vienne justifier l'organisation actuelle, l'usage ne pouvant que la rendre encore mieux appropriée à ses fins.

L'augmentation du trafic qui, jusqu'ici, a été pour ainsi dire continue, ne peut, d'ailleurs, que s'affirmer et progresser avec les économies que procureront les nouvelles installations maritimes et avec les avantages qui seront la conséquence du régime très libéral que le Gouvernement argentin a adopté pour l'exploitation de ce nouveau port.

Nous venons de résumer en quelques pages les traits principaux d'une œuvre intéressante à des points de vue divers.

Le but de cette communication était avant tout de faire connaître quel vaste programme le Gouvernement argentin avait

conçu et à quelle solution avantageuse il s'était définitivement arrêté pour sa réalisation.

On a pu voir, en effet, que l'État argentin n'aura pas eu à supporter les dépenses d'établissement du port du Rosario et, cependant, il sera le premier à profiter de ses résultats, tant par le développement de la mise en valeur du pays et par sa participation directe dans les bénéfices de la concession, que par l'appropriation gratuite du port qui lui reviendra en fin de concession. C'est là un exemple très instructif de l'efficacité que peut avoir l'initiative privée, quand on sait y faire appel et favoriser son action.

Quant à l'accroissement de richesse et de bien-être dont les populations voisines bénéficieront par suite de l'amélioration de la navigation et de la création d'un grand port à Rosario, il est aisé à prévoir, et il est garanti d'avance par la valeur économique du Parana, en tant que voie de pénétration, comme par la fécondité des régions qu'il baigne.

Il faut, en terminant, ajouter que, si tous les pays civilisés sont appelés à profiter en quelque mesure de l'impulsion que doit produire un nouveau centre d'activité économique, la France est principalement désignée pour en retirer les plus appréciables bienfaits, en retour de la coopération qu'elle aura apportée, pour une œuvre éminemment productrice, dans ce pays jeune, plein de promesses d'avenir, où un si grand nombre de ses nationaux ont déjà trouvé un établissement avantageux et dont le développement actuel réserve à ses ingénieurs et à ses industriels des débouchés de plus en plus nombreux.

## Renseignements statistiques.

(*Extraits de documents officiels publiés par le Gouvernement argentin.*)

### Population de l'Argentine.

En 1902 . . . . . . . . . . . . . 5 022 248 habitants.

*Accroissement comparatif de la population pour les dix dernières années.*

| Nations. | Taux d'accroissement. |
|---|---|
| République Argentine . . . . . . . . . | 40 0/0 |
| États-Unis . . . . . . . . . . . . . | 20 |
| Allemagne . . . . . . . . . . . . . | 16 |

## SURFACE DU PAYS. — SURFACES CULTIVÉES.

| | |
|---|---|
| Superficie totale de l'Argentine . . . . . | 295 012 000 ha |
| — actuellement cultivée (1902) . . | 8 400 000 |
| Augmentation pendant les dix dernières années de la surface cultivée. . . . . . . . | 136 0/0 |
| Surface de terre arable . . . . . . . . . | 104 300 000 ha |
| — propre à l'élevage du bétail . . . | 100 000 000 |
| Rapport de la surface cultivée à la surface cultivable . . . . . . . . . . . . . . . . . | 8 0/0 |
| *La superficie de la France* . . . . . . . . . | *53 640 800 ha* |

## CHEMINS DE FER ARGENTINS.

| | |
|---|---|
| Années 1867 . . . . . . . . . . . . | 571 km |
| — 1880 . . . . . . . . . . . . | 2 515 |
| — 1890 . . . . . . . . . . . . | 9 432 |
| — 1902 . . . . . . . . . . . . | 17 377 |
| *En France 1903* . . . . . . . . . . | *44 601* |

## TROUPEAUX (1901).

| | Têtes. | Accroissement annuel. |
|---|---|---|
| Bêtes à cornes. . . . . . | 30 000 000 | 25 0/0 |
| Chevaux . . . . . . . . | 5 600 000 | 20 |
| Moutons . . . . . . . . | 120 000 000 | 33 |

## CÉRÉALES EXPORTÉES.

*Nombre d'hectolitres.*

| Années. | Blé. | Maïs. | Lin. |
|---|---|---|---|
| 1900 | 26 536 582 | 6 642 228 | 3 148 354 |
| 1901 | 10 899 888 | 13 975 848 | 5 653 152 |
| 1902 | 8 281 500 | 17 833 000 | 5 321 000 |
| 1903 | 21 511 000 | 30 854 000 | 9 389 300 |
| 1904 | 30 639 000 | 36 114 000 | 13 900 000 |
| 1902 | *La France a produit 115 millions d'hectolitres de blé et en a consommé 120.* | | |

## Buenos-Aires.

ACCROISSEMENT DE LA POPULATION.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Année | 1852. . . . . . | 76 000 | habitants. |
| — | 1864. . . . . . | 140 000 | — |
| — | 1869. . . . . . | 178 000 | — |
| — | 1887. . . . . . | 400 000 | — |
| — | 1904. . . . . . | 950 000 | — |

MOUVEMENT DU PORT.

*Tonnage de jauge des navires.*

| Années. | Entrées et sorties. | Observations. |
|---|---|---|
| — | — | — |
| 1880 | 644 570 t | |
| 1885 | 2 200 774 | (commencement des travaux du port) |
| 1889 | 3 800 000 | (ouverture d'une partie du port) |
| 1902 | 8 910 766 | |

## Rosario.

ACCROISSEMENT DE LA POPULATION.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Année | 1858. . . . . . | 9 785 | habitants. |
| — | 1869. . . . . . | 23 169 | — |
| — | 1887. . . . . . | 50 914 | — |
| — | 1895. . . . . . | 91 669 | — |
| — | 1900. . . . . . | 112 113 | — |
| — | 1903. . . . . . | 127 040 | — |

MOUVEMENT DU PORT.

*Tonnage des marchandises.*

| Années. | Exportations. | Importations. | Mouvement total. |
|---|---|---|---|
| — | — | — | — |
| 1879 | 140 000 | 120 000 | 260 000 |
| 1897 | 289 722 | 226 870 | 516 593 |
| 1898 | 708 630 | 280 330 | 989 960 |
| 1899 | 1 270 817 | 372 330 | 1 643 147 |
| 1900 | 1 214 992 | 305 292 | 1 520 284 |
| 1901 | 1 063 314 | 345 750 | 1 409 064 |
| 1902 | 740 681 | 280 659 | 1 021 340 |
| 1903 | 1 744 260 | 420 000 | 2 164 260 |
| 1904 | 2 226 269 | 628 469 | 2 854 738 |

## Mouvement des navires.

*Tonnage de jauge (entrées et sorties).*

| Années. | Navires d'outre-mer. | Navires de cabotage. | Mouvement total. |
|---|---|---|---|
| — | — | — | — |
| 1897 | 820 292 | 688 036 | 1 508 328 |
| 1898 | 1 230 440 | 970 630 | 2 201 070 |
| 1899 | 1 936 660 | 1 244 992 | 3 181 652 |
| 1900 | 1 930 444 | 702 364 | 2 632 808 |
| 1901 | 1 997 591 | 878 419 | 2 876 010 |
| 1902 | 1 448 486 | 825 992 | 2 274 478 |
| 1903 | 2 794 599 | 1 051 890 | 3 846 489 |
| 1904 | » | » | 4 300 000 env. |

*Nombre de navires entrés et sortis.*

| | |
|---|---|
| Année 1899 . . . . . . . . . . . . . | 4 832 |
| — 1900 . . . . . . . . . . . . . | 4 120 |
| — 1901 . . . . . . . . . . . . . | 4 493 |
| — 1902 . . . . . . . . . . . . . | 4 027 |
| — 1903 . . . . . . . . . . . . . | 5 194 |
| — 1904 . . . . . . . . environ | 5 030 |

# LA CAPACITÉ

DES

# WAGONS A MARCHANDISES

PAR

**E. BIARD**

---

## SOMMAIRE

### III. Grande-Bretagne.



### IV. Allemagne.



### V. France.

# LA CAPACITÉ
DES
# WAGONS A MARCHANDISES

PAR

**E. BIARD**

## AVANT-PROPOS

La question de la *capacité des wagons à marchandises* se rapporte à deux ordres d'idées différents : l'un technique, l'autre commercial. Technique, parce que le mode de construction du matériel même dépend beaucoup de la capacité cherchée, parce que l'importance de cette capacité est aussi de nature à influer sur les conditions d'établissement de la voie et des ouvrages d'art et, enfin, parce que les conditions d'exploitation technique d'une Compagnie de chemins de fer dépendent, dans une certaine mesure, de la capacité et de la puissance des engins de transport utilisés. A ce premier point de vue, la question que nous abordons se rattache directement à l'art de l'Ingénieur.

La capacité doit aussi être considérée au point de vue commercial, à cause de la relation immédiate de la capacité ou du tonnage des véhicules avec les tarifications adoptées.

Sans négliger absolument, dans les développements qui vont suivre, les considérations d'ordre commercial, puisque c'est par elles qu'on est à même de définir le but à atteindre, à savoir la satisfaction des besoins et des intérêts de l'industrie et du commerce, nous insisterons plutôt sur le côté technique qui envisage les moyens employés pour atteindre ce but.

Parmi les communications faites à la Société des Ingénieurs Civils, nous rappellerons le mémoire de M. Marché sur le *Poids mort dans les transports par chemins de fer et son influence sur le prix de revient des transports*, mémoire qui a valu à son auteur le Prix Annuel de la Société en 1872.

Plus récemment, en 1898, parmi les travaux publiés à l'occasion du cinquantenaire de notre Société, a paru une étude très documentée de M. Flaman, notre collègue de la Compagnie de

l'Est, sur les importantes transformations apportées successivement au matériel roulant des grands réseaux français dans la dernière moitié du siècle dernier.

Enfin, dans le discours qu'il prononçait le 18 avril 1902, en prenant place au fauteuil de Président de notre Société, M. Salomon, Ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie de l'Est, consacrait la dernière partie de son allocution aux progrès réalisés durant les vingt-cinq dernières années dans la construction du matériel à marchandises de la Compagnie de l'Est.

La question de la *capacité des wagons à marchandises* a été posée deux fois au Congrès international des Chemins de fer, en 1889 et en 1900. Cinq rapports furent déposés à la 6e Session tenue à Paris en 1900. L'auteur de la présente étude était rapporteur pour l'ensemble de la question, en collaboration avec M. Schœller, chef adjoint des Services commerciaux du Chemin de fer du Nord.

Il ressortait nettement de l'exposé des rapports déposés que, surtout dans les dernières années qui en précédèrent l'ouverture, il s'était en général produit sur la plupart des chemins de fer du monde entier, à des degrés divers suivant les pays, une tendance bien marquée à l'augmentation de la capacité des wagons à marchandises et, à la suite de la discussion qui eut lieu dans les Sections en séance plénière, les conclusions suivantes furent adoptées :

» 1° L'augmentation de la capacité du matériel présente des avantages certains au point de vue technique;

» 2° Les considérations d'exploitation technique et commerciale particulières à chaque réseau permettent seules de décider s'il convient de procéder à cette augmentation et de fixer les limites à adopter dans chaque cas. »

Depuis 1900, cette évolution constatée dans l'accroissement de la capacité des wagons à marchandises s'est encore accentuée; l'utilité et les avantages de cette augmentation ont été presque universellement reconnus; peu de réseaux importants sont restés étrangers à ce mouvement.

L'Amérique qui a, la première, adopté les plus puissantes unités de transport, a continué à les augmenter : d'un tonnage de 25 et 36 t, elle est passée à 40, 45 et même 50 t (1); presque

(1) A moins d'indication contraire, les nombres exprimés en tonnes, au cours de la présente étude, se rapportent à des tonnes métriques.

tout le matériel américain récemment construit est un matériel de *très grande capacité*.

Sur le continent européen, où le tonnage de beaucoup le plus usité a été et est encore de 10 t, l'Allemagne, la première, adopta couramment, pour certaines séries de wagons de types courants, le tonnage de 15 t, mais elle s'est laissé devancer dans ces dernières années par les Compagnies françaises qui ont mis en service un nombre déjà relativement considérable de wagons de 20 t. L'ensemble du matériel européen, par rapport au matériel américain, peut encore être considéré, malgré la création de ces types récents, comme du matériel de *moyenne capacité*. Seule l'Angleterre, pour des raisons que nous exposerons plus loin, a fait jusqu'alors presque exclusivement usage d'un matériel de transport de *petite capacité*, le tonnage de la presque totalité des wagons en service variant entre 5 et 8 t, 10 t au plus.

Il ne serait naturellement pas possible, dans un aperçu forcément très rapide, de considérer pour tous les pays de l'ancien et du nouveau Continent, dans quelles conditions la capacité du matériel de transport a été respectivement traitée par les chemins qui sillonnent actuellement la surface du globe ; nous nous bornerons à envisager les quatre pays dont il vient d'être parlé : les États-Unis, la Grande-Bretagne, l'Allemagne, la France. Le matériel de transport des autres pays, tout en offrant de nombreux exemples de particularités très intéressantes, est assimilable, dans ses grandes lignes, au point de vue qui nous occupe, au matériel de l'une ou de l'autre de ces quatre nations; malgré la tendance commune que nous avons signalée de l'augmentation de la puissance de l'unité de transport, on y rencontre les extrêmes, depuis le matériel anglais de petite capacité moyenne récemment encore peu supérieure à 5 et 6 t, jusqu'à la très grande capacité presque décuple atteinte actuellement par les wagons américains de 40 à 50 t.

Des solutions aussi diverses de la question ne peuvent trouver leur explication que dans les multiples circonstances qui influent forcément sur la capacité du matériel d'un réseau déterminé, à une époque considérée, comme, par exemple, les conditions géographiques et climatériques, l'étendue et la configuration du réseau, les richesses naturelles du sol, la densité industrielle du pays, la nature du trafic, les usages commerciaux, les systèmes de tarification appliqués, etc.

En considérant comment, dans un même pays, ces divers éléments ont pu varier, et en observant aussi comment s'est produite parallèlement l'évolution survenue dans les types de véhicules successivement créés pour répondre à de nouveaux besoins, nous pourrons essayer de dégager les raisons qui conduisent à recourir à un matériel de capacité déterminée.

## I. — GÉNÉRALITÉS SUR LE MATÉRIEL DE TRANSPORT DE PETITE VITESSE

### Wagons à essieux indépendants. Wagons à bogies.

La capacité des wagons est intimement liée aux conditions techniques d'établissement; la grande capacité américaine n'a pu être obtenue que grâce à l'emploi des *bogies;* le matériel de type européen, de moyenne ou de petite capacité, est monté sur *essieux indépendants.*

Pour le matériel du type à essieux indépendants, les wagons à deux essieux sont de beaucoup les plus répandus; ce nombre d'organes porteurs suffit, en effet, pour le tonnage de 10 t, 15 t et même, d'après la pratique suffisamment longue de plusieurs Compagnies francaises, pour le tonnage de 20 t. Toutefois, on a fait souvent usage d'un troisième essieu pour des tonnages moindres. Un plus grand nombre d'essieux indépendants, quatre par exemple, n'est employé que pour des wagons de types exceptionnels comme ceux servant au transport de masses indivisibles.

Quant aux bogies des wagons à marchandises, ils ont été jusqu'alors construits à deux essieux, soit quatre paires de roues par véhicule.

### Wagons de types courants pour le trafic général : trois types : découverts, couverts et plats. Wagons spéciaux. — Wagons particuliers.

Au point de vue de la nature des chargements qu'ils sont susceptibles de transporter, les wagons de types courants, affectés au trafic général, se divisent en trois grandes catégories qui se différencient par la forme de la caisse :

1° Les wagons *tombereaux* ou *découverts*, affectés au transport des matières pondéreuses susceptibles de voyager en vrac (houilles, minerais, etc.);

2° Les wagons *couverts* ou *fermés*, réservés aux marchandises encombrantes ou non, mais craignant les intempéries, comme les céréales, les denrées, les tissus, les meubles, les animaux vivants, etc.;

3° Les wagons *plats*, pour le transport des matériaux susceptibles de voyager à découvert, comme les pierres de taille, certains produits métallurgiques, ou bien dont la protection est suffisamment assurée par un bâchage, comme les fourrages.

Pour certains transports particuliers, on est souvent amené à faire usage de *wagons spéciaux* dont la construction et la capacité sont prévues suivant la nature et les conditions du trafic spécial à desservir : wagons-glacières, wagons-citernes, etc. Les wagons de ce genre appartiennent souvent aux industriels ou expéditeurs intéressés à les faire construire et à les faire circuler sous le régime de tarifs spéciaux qui prévoient cette utilisation de *wagons particuliers*.

Nous laisserons de côté les wagons tout à fait spéciaux, la question de capacité y est une question d'espèce.

Pour les wagons de types courants, leur capacité est, au contraire, une résultante de l'ensemble des conditions du trafic général d'un réseau ou d'une contrée, et elle est généralement déterminée en vue de se prêter le mieux possible à la généralité des chargements à prévoir respectivement pour les trois catégories définies plus haut; on cherche, en effet, à éviter une spécialisation toujours gênante pour les services de l'exploitation.

## Éléments divers de la capacité d'un wagon : tonnage; cube utilisable; surface du plancher.

Le *tonnage* des véhicules n'est qu'un des éléments de la capacité; c'est souvent le plus important, mais ce n'est pas le seul. La capacité peut, en effet, et doit être considérée au triple point de vue du *tonnage*, du *volume* ou du cube utilisable de la caisse et de la *surface du plancher*.

Le *tonnage* est l'élément capital à considérer pour les wagons découverts, bien entendu le volume de caisse devant se trouver en rapport avec les limites dans lesquelles peut varier la densité des marchandises susceptibles d'y être transportées.

Pour les wagons couverts, le cube utilisable est, en général, l'élément principal à observer et c'est, par contre, le tonnage qui se déduira de la densité des marchandises à transporter. La surface du plancher peut aussi, pour ces wagons, être à considérer.

Enfin, pour les wagons plats, le cube ne joue aucun rôle ; le tonnage et la surface du plancher seront à prendre en considération, isolément ou simultanément, selon la nature des transports réservés à ces wagons.

Pour obtenir une forte capacité en *tonnage*, qu'il s'agisse de wagons découverts, couverts ou plats, il faut surtout un châssis solide, des organes de suspension et de roulement robustes; toutefois, on ne pourrait dépasser certaines limites de tonnage par la seule augmentation de l'équarrissage de ces organes, car il y a sur chaque réseau une charge totale limite sur rails par essieu ou par mètre courant de voie, qu'il ne faut pas dépasser. Au delà de ces limites, l'augmentation du nombre des essieux s'impose.

La grande capacité en *volume* est naturellement obtenue par les formes et dimensions de la caisse : pour les wagons couverts, la hauteur et la largeur étant limitées par le gabarit de libre passage dans les ouvrages d'art, la longueur est le seul élément sur lequel on puisse agir ; pour les wagons découverts, les chargements n'étant pas de nature à s'effectuer jusqu'à la partie supérieure du gabarit, c'est par la hauteur des bords combinée avec la longueur du véhicule qu'on atteindra le but cherché.

Enfin, si une *grande surface de plancher* est désirable, c'est encore la longueur, et seulement elle, qui sera le paramètre dont on disposera pour réaliser la capacité cherchée.

En résumé, on voit que la grande capacité en tonnage, en volume ou en surface, entraînera soit une charge élevée par essieu dans le premier cas, soit une grande longueur dans les deux derniers cas, soit les deux à la fois si on cherche à la fois la capacité de tonnage et de volume ou surface.

L'excès de charge par essieu ou le dépassement de la longueur compatible avec les courbes des voies à fréquenter entraînent tous deux l'augmentation du nombre des essieux, et c'est ainsi qu'au delà de limites relativement restreintes, le mode de construction à bogies s'impose et s'est introduit progressivement avec la recherche d'une plus grande capacité.

Pour que l'intérêt aille toujours croissant, il semblerait logique

de procéder du petit au grand et, par suite, de commencer l'examen comparatif des quatre pays considérés par l'Angleterre, pays au matériel de très petite capacité, pour finir par les États-Unis où la très grande capacité est plus que jamais en faveur; mais comme c'est en Amérique que la transformation du matériel a été la plus complète et la plus rapide, nous commencerons par ce pays; nous apprécierons ensuite mieux à quel point en sont actuellement les autres nations et en particulier la nôtre, dans cette marche au progrès; nous essaierons de voir pour quelles raisons, d'ordre économique ou commercial, cette marche, avec des points de départ cependant peu différents à l'origine, n'a pas été la même partout, et enfin nous essaierons de déterminer si, et dans quelles limites, il est actuellement, en France, désirable et possible de se rapprocher de la pratique américaine.

## II. — ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

### Historique du développement de la capacité aux États-Unis.

Les premières lignes construites en Amérique furent exploitées avec des wagons à marchandises imités des types européens, c'est-à-dire relativement courts, montés sur deux essieux indépendants et d'une capacité très faible. Les lignes américaines se trouvaient, en effet, à cette période dans les mêmes conditions que les lignes contemporaines de l'Ancien Continent : le trafic naissant ne donnait lieu qu'à des expéditions de faible importance, et la soudure imparfaite des différents réseaux avait pour conséquence qu'à défaut d'échange entre les diverses Compagnies, le trafic se bornait à des services intérieurs et, par conséquent, à des parcours à faible distance.

Avant 1850, on ne faisait guère usage que de wagons d'une capacité de 7 000 lbs, c'est-à-dire 3,175 tonnes métriques.

De 1850 à 1860, après la découverte de l'or en Californie, de nombreuses voies ferrées se construisent, le trafic se développe, son intensité dans l'Est entraîne d'une part, une augmentation progressive de la capacité des wagons à deux essieux, dont le tonnage passe à 10 000 lbs (4,536 t), et d'autre part, l'apparition des premiers wagons à bogies à caisse sensiblement plus longue et dont le type a depuis lors caractérisé la construction améri-

caine. Les premiers wagons à bogies avaient, comme ceux à deux essieux de la même époque plus spécialement réservés au transport de la houille, le même tonnage de 10 000 lbs, soit 4,536 t.

Après un moment d'arrêt, lors de la guerre de Sécession, le développement du pays vers l'ouest et les nouvelles relations d'échange qui en résultèrent, conduisirent à établir le matériel neuf dans des conditions plus appropriées aux services directs d'un trafic à longue distance; les wagons à bogies construits à cette époque avaient un tonnage de 15 000 lbs (6,8 t) pour les wagons couverts ou ceux affectés au trafic général, et 20 000 lbs (9,07 t) pour les wagons à houille. Le développement des chemins de fer s'accentua d'une façon prodigieuse à partir de 1870, et une quantité considérable de matériel de transport fut nécessaire; en même temps que le nombre des unités de transport croissait avec tant de rapidité, chaque unité nouvelle, locomotive ou wagon, marquait sur les types antérieurs un progrès ininterrompu. C'est ainsi, pour ne citer que les principales étapes de cette évolution, qu'apparurent successivement vers 1873 les wagons de 28 000 lbs (12,700 t) et les wagons à houille à trémie de 37 000 lbs (16,783 t), en 1876, celui de 40 000 lbs (18,140 t). En 1885, le wagon de 60 000 lbs (27,2 t) fut adopté par les Compagnies les plus importantes comme type normal pour les wagons couverts ou découverts destinés au trafic général; pendant dix ans, c'est ce type de 60 000 lbs qui est presque exclusivement mis en service.

En 1895, ce tonnage déjà respectable, est dépassé pour un assez grand nombre de wagons du Pensylvania à l'Ouest de Pittsburg, construits en vue de porter 70 000 lbs (31,710 t).

En 1897 et 1898, les nécessités de transport créées par le développement extraordinaire de l'industrie métallurgique, et les progrès que ce développement rend d'ailleurs possibles dans la construction mécanique, amènent la création des derniers types de véhicules, à capacité et à tonnage jusqu'alors inconnus dans toute autre partie du monde, du moins pour les wagons de types courants, c'est-à-dire 80 000 et 100 000 lbs (36,290 et 45,360 t) pour les wagons couverts, 100 000 et même 110 000 lbs (45,36 t et 49,900 t) pour les wagons à houille et à minerai. Plus de 100 000 wagons de cette très grande capacité circulent actuellement sur les voies américaines, et il est bon de noter que le tonnage que nous venons d'indiquer se rapporte au tonnage nominal inscrit, les usages admettant une surcharge de 10 0/0 que les

véhicules sont, d'ailleurs, susceptibles de recevoir, ce qui correspond aux tonnages effectifs de 50 et 55 t, pour un seul véhicule.

On voit, d'après ces quelques détails historiques, empruntés au rapport présenté au Congrès de 1900, par M. Loree, directeur des Pensylvania Lines West of Pittsburg, que l'accroissement de la capacité du matériel à marchandises a suivi aux États-Unis une marche presque hyperbolique, si l'on s'en rapporte au graphique n° 1 ci-contre.

## Transformation successive du mode de construction des wagons américains à mesure de l'accroissement de leur capacité.

Il est intéressant de voir, pendant ce dernier quart de siècle que nous venons de considérer, quelles transformations a subies, en même temps que leur capacité, le mode de construction des wagons américains, en mettant d'ailleurs à profit les progrès de la métallurgie qui ont caractérisé la situation industrielle des États-Unis dans la même période.

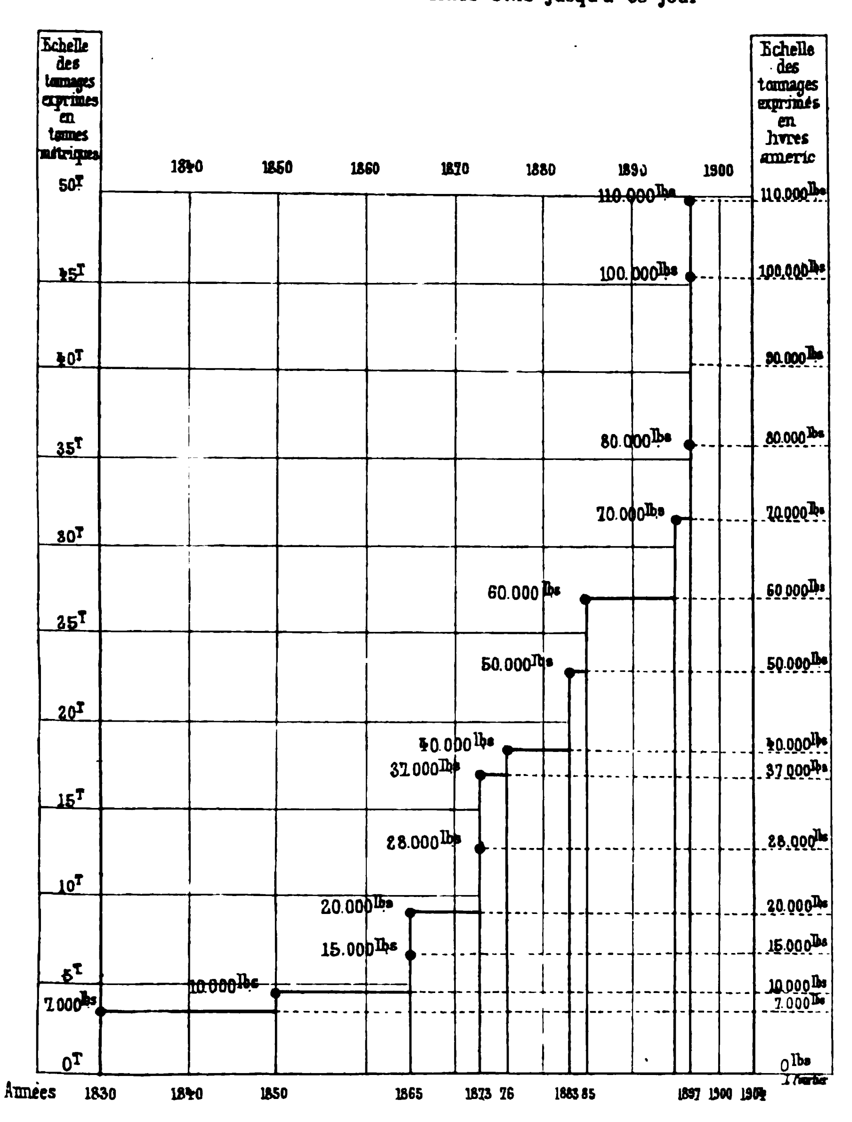
### a) Bogies.

La principale caractéristique de la construction américaine a été, comme on l'a dit plus haut, l'emploi, presque dès le début des chemins de fer, du matériel à bogies. Pour les wagons à marchandises, le bogie le plus usité de tout temps en Amérique a été le bogie du type dit « Diamond » dont le cadre du châssis est relié rigidement aux boîtes des essieux. Dans le type moins répandu et dénommé « Pedestal truck », le châssis du bogie est à longerons reposant élastiquement sur les boîtes au moyen de ressorts à lames ou en spirale.

Les bogies américains ont un empattement qui variait autrefois de 4′ 6″ 1/2 à 5′ (1,385 à 1,524 m); l'empattement le plus usuel actuellement est de 5′ ou 5′ 7″ (1,524 ou 1,702 m). On commence à se préoccuper en Amérique de l'influence défavorable d'un empattement trop réduit au point de vue de la résistance au roulement dans les courbes et de l'usure des rails et des boudins des roues.

La robustesse des bogies a naturellement été mise progressivement en rapport avec l'augmentation de tonnage.

**GRAPHIQUE (N° 1) montrant l'ACCROISSEMENT DE TONNAGE des principaux types de wagons à marchandises créés successivement aux ETATS-UNIS jusqu'à ce jour**



b) CAISSE. — CONSTRUCTION EN BOIS, CONSTRUCTION MÉTALLIQUE (TÔLES ET PROFILÉS, TUBES, ACIER EMBOUTI).

C'est sur les dimensions de la caisse, sa forme et son mode de construction, que les variations de la capacité ont eu le plus d'influence en même temps que la nature des matières utilisées.

Les Américains ont employé le bois pour la construction des wagons, beaucoup plus longtemps que les chemins européens. L'emploi courant du fer ou de l'acier n'y remonte qu'à dix ou douze ans au plus, alors qu'en Europe ce mode de construction a été presque généralement adopté depuis vingt à vingt-cinq ans (1).

Les caisses des wagons à bogies américains étaient donc, avant l'année 1893, construites en bois, ou pour mieux dire la membrure de la caisse était formée de pièces de bois assemblées entre elles, mais renforcées et armaturées par des tirants en fer prenant leurs points d'appui sur des semelles ou sabots en fonte.

Le plancher ou châssis de caisse était constitué par une série de poutres parallèles renforcées par un système parfois double de tirants à un ou deux poinçons. Nous observerons de nouveau ici que, à l'encontre du matériel européen, où les pièces longitudinales de résistance du châssis de caisse, c'est-à-dire les brancards de caisse, sont disposés vers les bords, des pièces aussi et parfois même plus résistantes sont, dans le matériel américain, disposées vers le centre; cette robustesse des longrines ou *longerons intermédiaires* est nécessitée par l'application d'attelages centraux automatiques transmettant dans cette région centrale tous les efforts de choc et de traction.

Les essences de bois les plus employées ont toujours été le pitch-pin et le yellow-pin ou sapin jaune.

Au-dessus du plancher ou châssis de caisse la membrure des wagons couverts est constituée par des montants, reliés à leur partie supérieure par des pièces longitudinales dites *battants de pavillon* et par les *courbes de pavillon*, et entretoisés sur les faces par de nombreuses écharpes ménagées de façon à faire contribuer les parois latérales à la rigidité de la caisse.

Les wagons en bois construits d'après ces dispositions étaient robustes et relativement légers, eu égard à leur tonnage. Les wagons tombereaux (gondola-cars) de 60000 lbs (27,216 t) pesaient entre 10 et 14 t, le plus généralement 12,5 t soit un rapport de la charge utile au poids total d'environ 68 0/0.

(1) Les premiers châssis entièrement métalliques de la Compagnie de l'Est remontent à l'année 1877.

Les Américains n'ont maintenu aussi longtemps l'usage du bois qu'à cause de la facilité qu'ils avaient de s'approvisionner à bon compte des essences convenables à la construction du matériel; mais l'accroissement de puissance des locomotives et l'augmentation de tonnage des wagons qui se produisirent parallèlement d'une façon continue, eurent pour effet de causer au matériel de transport, malgré ses formes massives, des avaries graves de plus en plus nombreuses et très onéreuses; les ruptures de traverses de tête et des longerons intermédiaires étaient particulièrement fréquentes.

D'autre part, le développement gigantesque de la métallurgie qui se produisit vers la fin du siècle dernier aux États-Unis eut pour conséquence une diminution des prix du fer et de l'acier, tandis que l'excès de la consommation résultant du grand nombre des constructions en bois de tout genre entreprises causait une augmentation des prix des pièces de bois de grande longueur et de forts équarrissages. Ces diverses raisons firent pressentir à certains constructeurs américains le rôle que le fer et l'acier étaient susceptibles de jouer dans la construction du matériel de transport et la possibilité d'obtenir, par la substitution du métal au bois, des wagons, et en particulier des châssis sensiblement plus résistants, tout en étant aussi et même plus légers, d'une durée vraisemblablement supérieure et d'un entretien probablement moins coûteux.

Dans les premiers essais qui, de 1888 à 1896 furent entrepris dans ce sens, le métal fut employé pour les pièces principales du châssis, sous trois formes différentes, en *profilés*, en *tubes*, ou en *pièces embouties*; les pièces secondaires d'assemblage étaient en fonte, en acier moulé ou forgé (1).

Au cours de l'année 1891, trois Sociétés américaines de construction se livraient à des essais dans ce sens : la Harvey Steel Car C° construisait 25 premiers wagons en acier du type Harvey,

(1) C'est le type à châssis dit tubulaire, du type « Goodfellow » qui semble avoir fourni les premiers spécimens de wagons à charpente métallique. En 1888, le Norfolk and South Western Railway louait au constructeur les premiers wagons de ce type; les premiers essais furent assez satisfaisants mais les applications ultérieures de ce genre de véhicules firent ressortir d'assez nombreux inconvénients, particulièrement un défaut de rigidité et de résistance résultant d'une construction jugée trop légère et d'une grande difficulté dans la réparation due à la trop grande variété des pièces composant le châssis. Dès 1893, la Commission instituée par l'Association des Master Car Builders pour l'étude de ce type de wagon concluait à son abandon, ne le considérant pas comme pratique. En 1894 il y avait eu 8000 de ces wagons construits et nous ne croyons pas que le nombre s'en soit beaucoup accru depuis lors en Amérique. En Europe toutefois, il y a eu et il y a encore des applications de ce mode de construction, dans lesquelles on a cherché à remédier aux inconvénients signalés ci-dessus.

caractérisés par l'emploi de *profilés* en acier; la Fox Steel Car C°, de son côté, étendait l'emploi des *bogies* en *acier embouti* en raison des bons résultats obtenus par l'emploi de l'acier sous cette forme, limité, tout d'abord, pour les premières applications remontant à 1888, à quelques pièces comme les crapaudines de pivots et les montants de caisse. Enfin la Schœn Manufacturing C°, concessionnaire des brevets Fox, préparait, en vue d'expériences à tenter, la construction des premiers wagons entièrement en acier pouvant transporter 60 000 lbs (27,2 t) et d'un poids réduit à 18 000 lbs ou 8,16 t.

A partir de 1891, de nombreux mémoires lus dans les clubs d'Ingénieurs, les rapports des Commissions instituées par la M. C. B. Association, présentés et discutés aux séances des Congrès annuels, les articles parus dans les périodiques techniques, l'Exposition de Chicago où figuraient quelques wagons du type Harvey et un wagon plat de la Fox pressed Steel Car C°, avec longerons et bogies emboutis, enfin une active propagande des constructeurs ne cessent d'appeler l'attention des Ingénieurs de Chemins de fer américains sur les études et expériences entreprises par quelques réseaux sur des wagons de construction métallique.

Quelques mécomptes sont éprouvés au début de la mise en service des premiers de ces wagons du type Harvey, parce que les réparations des avaries affectant les profilés semblent moins facilement réparables au personnel chargé de l'entretien, plus familiarisé avec la réparation des châssis en charpente; mais ces premières difficultés, d'ailleurs vite aplanies, sont mises à profit pour l'étude ultérieure des nouveaux wagons à construire, grâce à l'emploi de pièces interchangeables et de profilés des types du commerce, de sorte que vers fin 1894 un assez grand nombre de Compagnies, notamment le New York Central, le Pensylvania Railroad, le Norfolk et Western Railway, le Chicago Milwaukee and Saint-Paul Railway tombaient d'accord sur les avantages des châssis métalliques au point de vue de la solidité, de la durée probable et des frais d'entretien. Ces résultats corroboraient pour le matériel de type américain à bogies à tamponnement central, d'un tonnage usuel à cette époque de 60 000 lbs (27,2 t), les constatations faites antérieurement sur les avantages de la construction métallique appliquée en Europe au matériel à deux essieux, d'un tonnage moindre et à tampons latéraux.

Des châssis, le mode de construction métallique s'étendit aux caisses et le wagon trémie en acier pour le transport des matières pondéreuses remplaça les anciens wagons de même genre à caisse en bois.

En 1896, la Carnegie Steel C° fit construire les premiers wagons plats de 80 000 lbs (36,3 t) et les premiers wagons à trémie en acier d'une longueur de 30' (9,144 m). Les résultats constatés furent non moins encourageants.

En 1897, avec l'inauguration des nouveaux ateliers Schœn, la construction des wagons en acier prit son essor et on peut considérer, dès lors, que ce mode de construction, qui contribua au premier chef à l'augmentation du tonnage et de la capacité des wagons, entra véritablement en Amérique dans le domaine de la pratique.

Cette époque est bien récente, mais quelle distance énorme a été franchie dans ces six ou sept dernières années ! Quelques chiffres mettront en évidence ce développement si rapide du matériel de construction métallique à très grande capacité, en même temps qu'ils feront ressortir la prodigieuse activité des ateliers de construction américains pendant la période qui vient de s'écouler.

Les nouveaux ateliers Schœn, qui construisaient en 1897 un premier lot de 500 wagons en acier embouti, en ont construit actuellement plus de 100 000 aussi bien pour l'Amérique que pour l'étranger.

Le Pensylvania Railroad, qui commandait en 1897 aux mêmes ateliers les 1 000 premiers wagons de très grande capacité de 110 000 lbs (49,9 t) pour minerai et de 100 000 lbs (45,2 t) pour charbon, possédait, dès 1902, 10 000 wagons trémies en acier de 50 t (45,4 t) pour le charbon (avec appareils de choc et traction Westinghouse).

Le Baltimore and Ohio Railway qui a décidé, en 1897, de ne plus construire de wagons en bois pour adopter des wagons houillers de 40 t (36,3 t), et des wagons trémies en acier de 50 t (45,4 t), possède actuellement (1904) 16 000 wagons en acier.

Le Chicago and Alton Railway a adopté le châssis en acier pour tous ses types de wagons.

Bref, le mode de construction des wagons en bois, ou tout au moins des châssis, a été de moins en moins employé et la construction de wagons métalliques au moyen de profilés ou de pièces en acier embouti reconnue définitivement avantageuse par

la M. C. B. Association en 1897, est devenue aujourd'hui pour ainsi dire générale sur les lignes américaines (1); le nombre des wagons à pièces en acier embouti, très fréquemment appliqué aussi bien à la caisse qu'au châssis et aux bogies, dépasse actuellement de beaucoup celui des wagons en profilés parce qu'à résistance égale on a réussi à obtenir avec l'acier embouti, un wagon plus léger que par l'emploi de tôles et profilés ; l'emploi des emboutis a donc prévalu, malgré qu'au début les prévisions de la M. C. B. Association formulées en 1897 eussent été en faveur des profilés : l'expérience semble maintenant assez prolongée pour être concluante, tout au moins pour le matériel des formes et dimensions usitées en Amérique et eu égard au service à assurer et au mode d'entretien pratiqué sur les lignes de ce pays.

Nous venons de voir à quelles époques s'est produite progressivement l'augmentation de la capacité des wagons et comment elle a été réalisée par la création successive de types de plus en plus puissants : il est intéressant de mettre en évidence les circonstances qui ont motivé ou favorisé cette transformation, le but qu'on a poursuivi en la réalisant, les conditions et les dépenses grâce auxquelles elle a été rendue possible, enfin les avantages que les chemins de fer américains en ont tirés dans ces dernières années.

## Circonstances qui ont favorisé ou nécessité en Amérique, l'emploi du matériel de grande capacité. — Accroissement simultané de la puissance des locomotives. — Trains lourds. — Courants directs de transports (2).

Les causes principales de cet accroissement ont été, d'une part, l'énorme et rapide développement des voies ferrées (de 1880 à

(1) Les lecteurs qui désireraient avoir des détails plus complets sur le développement des wagons en acier en Amérique, pourront consulter utilement des articles très intéressants parus en 1903 et 1904 dans l'*Engineering News*, auxquels nous avons emprunté, en les résumant, une partie des renseignements qui précèdent.

(2) Parmi les chiffres cités dans cette partie de notre mémoire, nous en avons emprunté un certain nombre à un rapport des plus intéressant sur l'exploitation des Chemins de fer américains par le lieutenant-colonel du génie W. V. Constable, Directeur de l'Eastern Bengal State Railway, à la suite d'une mission dont il fut chargé par le Sous-Secrétaire d'État pour l'Inde. Ce rapport a été publié par *The Engineer* dans les numéros d'août à décembre 1902.

. Le même journal avait publié, de décembre 1899 à mars 1900 une autre série d'articles très documentés d'un de ses correspondants, sur les Chemins de fer anglais et américains.

1895, le réseau américain a presque doublé; il est passé de 145 000 à 290 000 km et aujourd'hui il est voisin de 340 000 km); d'autre part, la concurrence effrénée qui s'établit entre les diverses Compagnies et qui a eu pour conséquence un abaissement incessant et excessif des tarifs (1); la situation financière de certains réseaux, aussi bien parmi les plus favorisés au point de vue de l'intensité du trafic que d'autres possédant des lignes moins productives, en fut atteinte à un point inquiétant. En raison de l'impossibilité de songer à des relèvements de tarifs, la nécessité de nouvelles méthodes fut reconnue indispensable.

Pour exploiter plus économiquement qu'il n'avait été possible de le faire jusqu'alors, il parut généralement que la dépense effectuée par train kilomètre et surtout par tonne kilométrique utile transportée pouvait être notablement réduite par l'application des deux principales mesures suivantes : diminution pour les wagons du rapport du poids mort au poids utile par la création de modèles de plus grande capacité, dont la tare ne croît pas proportionnellement à la charge, augmentation de la puissance des locomotives de façon à pouvoir remorquer des trains de plus en plus lourds portant le maximum de charge payante, la réduction du nombre de trains kilomètres rendue ainsi possible devant permettre de réaliser des économies réelles en combustible et surtout en salaires.

Or, en Amérique, tout concourait à rendre possible la réalisation de ces mesures et à assurer leur efficacité : richesses merveilleuses du sol consistant en minerais, houille, pétroles, céréales, cotons, et fournissant au trafic des quantités énormes de marchandises pondéreuses; situation géographique des centres commerciaux favorable à la production de courants directs de transport, énormes distances à franchir de l'Atlantique au Pacifique par exemple, ou des Grands Lacs au golfe du Mexique, entre les points de production et ceux de consommation ou de transformation industrielle. Ce sont les conditions les plus pro-

(1) Le tarif moyen par tonne kilométrique, sur l'ensemble des Chemins américains, varié dans les dernières années dans les proportions suivantes :

| | |
|---|---|
| En 1880, la recette moyenne par tonne kilométrique était de . . . | 3,85 centimes |
| En 1890. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 2,97 — |
| En 1899. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 2,35 — |

Le tarif moyen des houilles et minerais est actuellement très peu supérieur à 1 centime par tonne et par kilomètre et il varie entre 1,5 centime et 2 centimes pour la moyenne générale s'appliquant à l'ensemble du trafic marchandises.

Un trafic provisoire appliqué sur le Chesapeake and Ohio Railway est même descendu jusqu'à la limite de 0,7 centime pour les transports de houille vers la côte.

pices pour la formation rationnelle de trains lourds composés de wagons à fort tonnage circulant sous charge complète au moins dans un sens. C'est par de tels trains que peuvent être transportés, à un prix de revient remarquablement réduit, les minerais arrivant dans les ports des Lacs par bateaux de 7000 à 8000 t et dirigés par voies ferrées sur les districts métallurgiques de la Pensylvanie, franchissant sans rompre charge, un parcours voisin de 300 km. D'après une statistique de deux années consécutives, sur une des lignes reliant Pittsburg et les ports du lac Erié, on a relevé que les wagons chargés de minerai avaient circulé avec une charge effective moyenne de 108 0/0 du tonnage nominal (la surcharge maximum admise est de 10 0/0), et les wagons de charbon avec une charge effective moyenne de 82 0/0 (1).

Un tel rendement explique, avec le tonnage total des trains remorqués, le taux excessivement réduit auquel est revenu, sur certaines lignes, le prix de revient de la tonne kilométrique. On trouvera d'ailleurs plus loin quelques indications sur la charge des trains et sur le prix de revient par tonne transportée.

## Mesures grâce auxquelles l'augmentation de la capacité des wagons a pu être réalisée aux États-Unis. Dépenses qui en ont résulté.

### a) Voie. Ouvrages d'art.

La condition essentielle, pour pouvoir employer du matériel de traction de grande puissance et du matériel de transport de grande capacité, surtout de fort tonnage, est de disposer d'une voie robuste et résistante. Or, dans les derniers types de locomotives créés, le poids total sur rails, tender compris, atteint et dépasse 130 t, le poids par essieu dépasse fréquemment 20 t et atteint même 23 t; pour certaines machines du Pensylvania

(1) Il serait facile de multiplier les exemples de trains desservant sans rompre charge des courants directs de transport, et franchissant d'énormes distances. Nous nous bornerons à citer les trains de fruits et légumes, composés de 40 wagons de grande capacité, expédiés journellement de la Californie vers l'Est. Plus de la moitié des wagons de ces trains ont une destination au delà de Chicago et franchissent un parcours moyen de 3540 km. Pour les trains qui desservent les régions à l'ouest de Chicago, le parcours moyen atteint encore 2735 km. Le district de Los Angeles fournit à lui seul annuellement 18000 wagons chargés d'oranges, expédiés pendant la saison de décembre à juillet.

Railroad et du New York Central, ce poids est de 51 200 lbs ou 23,220 t (1).

Pour les wagons, il serait impossible d'atteindre les mêmes charges par essieu pour plusieurs raisons : d'une part, la fatigue imposée à la voie ou aux ouvrages d'art par les essieux des véhicules se repète d'une façon rythmique au passage successif de tous les wagons du train, tandis que pour la locomotive, l'action ne se produit qu'une fois au moment du passage des essieux moteurs qui sont les plus chargés; d'autre part, l'empattement relativement faible des bogies a pour effet de rassembler une charge considérable sur une longueur de voie très courte. Les derniers wagons de grande capacité de certains chemins comme le Pensylvania Railroad et le Southern Pacific atteignent toutefois des poids totaux sur rails par essieu de 15, 16 et 17,240 t, souvent encore dépassés en raison de la surcharge admise par rapport au tonnage nominal; ces charges sont d'autant plus élevées que les axes des bogies des wagons américains sont reportés autant que possible vers les extrémités, de sorte que si on considère les bogies extrêmes de deux véhicules voisins, c'est le quadruple de la charge par essieu qu'il y a lieu de considérer pour se rendre compte de la charge maximum par mètre de voie courante et de la fatigue des ponts et ouvrages d'art. La charge *moyenne* par mètre de voie atteint des nombres aussi très élevés : 6,640 t pour certains trains de houille formés de wagons de 50 t.

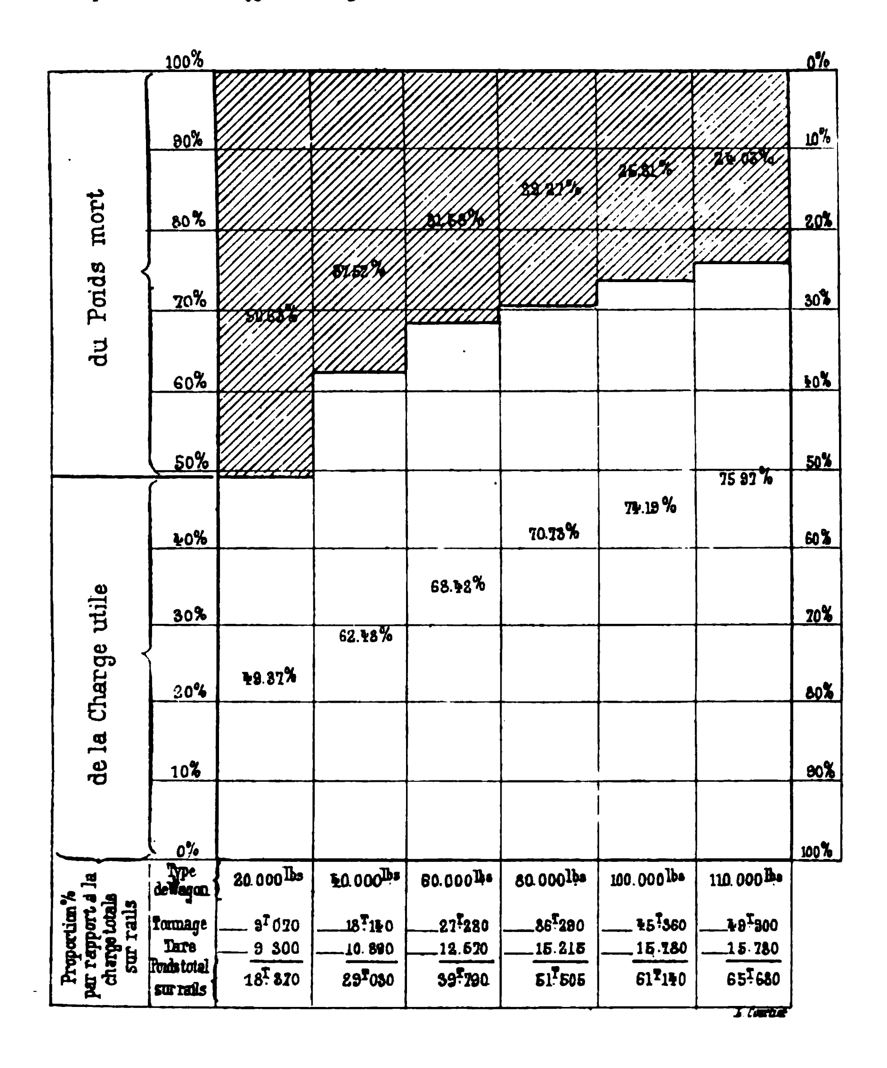
La plupart des chemins américains n'ont pas hésité à engager, très rationnellement d'ailleurs, de très fortes dépenses pour le renforcement des voies, soit par l'adoption de rails plus lourds et fortement éclissés, soit par l'augmentation du nombre des traverses et l'amélioration du ballast : tous les réseaux où le trafic consiste surtout en matières pondéreuses emploient sur les sections les plus chargées le rail de 49,6 kg; rarement on descend sur les lignes très importantes en dessous de 44,6 ou 42,2 kg. De nombreux ponts ont été reconstruits, et pour permettre de remorquer sans réduire la charge sur des lignes à profil très accidenté les trains lourds provenant de régions à profil plus doux, on n'a pas hésité lorsque l'emploi de locomo-

(1) La locomotive système Mallet, à deux trucks articulés de chacun trois essieux couplés, qui figurait à l'Exposition de Saint-Louis, dépasse encore ces limites. Son poids en ordre de marche est de 151,500 t, soit un poids moyen par essieu de 25,250 t. Elle a été construite à Schenectady, pour la Baltimore and Ohio et peut développer un effort de traction sans précédent jusqu'à ce jour de 32 t et même 38 t à simple expansion. (Voir *Génie Civil*, 14 janvier 1905.)

*Variation du Rapport du Poids mort et de la Charge utile au Poids total sur rails pour les divers types de wagons américains mis successivement en service.*

| TONNAGE | TARE | POIDS TOTAL SUR RAILS | RAPPORT du POIDS MORT au poids total sous charge | RAPPORT de la CHARGE PAYANTE à la charge remorquée |
|---|---|---|---|---|
| lbs t | t | t | 0/0 | 0/0 |
| 20 000 = 9,070 | 9,300 | 18,370 | 50,63 | 49,37 |
| 40 000 = 18,140 | 10,890 | 29,030 | 37.52 | 62,48 |
| 60 000 = 27,220 | 12,570 | 39,780 | 31,58 | 68,42 |
| 80 000 = 36,290 | 14,100 à 16,330 | 50,390 à 52,620 | 27,97 à 31,03 — 29,27 (Moyenne) | 72,03 à 68,97 — 70,73 (Moyenne) |
| 100 000 = 45,360 | 14,100 à 17,460 | 59,460 à 62,820 | 23,71 à 27,80 — 25,81 (Moyenne) | 76,29 à 72,20 — 74,19 (Moyenne) |
| 110 000 = 49,900 | 14,100 à 17,460 | 64,000 à 67,360 | 22,03 à 25,92 — 24,03 (Moyenne) | 77,97 à 74,08 — 75,97 (Moyenne) |

**GRAPHIQUE (N° 2) montrant la VARIATION DU RAPPORT DU POIDS MORT**
**ET DE LA CHARGE UTILE PAR RAPPORT AU POIDS TOTAL SUR RAILS**
**pour les divers types de wagons américains mis successivement en service**



*b)* Réduction des frais de premier établissement pour la construction du matériel.

Le prix d'un véhicule est loin de croître en proportion du tonnage ou de la capacité, il ne croît même pas toujours proportionnellement à la tare; lorsque le réseau du Pensylvania est passé du wagon de 60 000 lbs (27,22 t) de 34' (10,363 m) à celui de même longueur de 80 000 lbs (36,3 t), l'augmentation du prix par wagon n'atteignait pas 250 f, soit un supplément de prix de moins de 10 0/0 pour un supplément de charge de 33 0/0; le prix par tonne offerte descendait de 93 à 75 f, soit un bénéfice de 18,5 0/0.

Il résulte de la réduction du poids mort que les frais de premier établissement de construction du matériel ont été considérablement réduits par l'emploi de wagons de plus grande capacité, puisque les lignes américaines ont pu faire face à une augmentation de trafic déterminée par l'acquisition d'un effectif de wagons moindre et moins coûteux dans son ensemble que si les types antérieurs avaient été conservés : en six ans, de 1894 à 1900, le trafic total des marchandises sur l'ensemble des lignes américaines a passé de :

80,3 milliards de tonnes kilométriques à 141,6 milliards.
Soit une augmentation de . . . . . . . . . . . 76,2 0/0
La charge moyenne des trains a augmenté de 179,80 à 270,85 t, soit une augmentation de. . . . 50,6 0/0
Tandis que l'effectif des wagons ne s'est accru, en passant de 1 205 000 à 1 365 000, que de. . . . . 13,3 0/0

*c)* Diminution des frais d'entretien du matériel.

Les frais d'entretien du matériel lui-même ont été diminués; cette diminution ne s'est assurément pas produite par véhicule considéré isolément, car il n'est pas douteux, au contraire, qu'un véhicule de fort tonnage exige individuellement un entretien plus important, en raison, d'une part, d'une fatigue générale plus grande sous de très fortes charges, et d'autre part, de l'emploi d'organes plus robustes, il est vrai, mais partant plus coûteux; mais il n'en est pas moins résulté que pour un même tonnage transporté, la dépense totale a été moindre du fait du nombre moins grand de véhicules à entretenir, et de la réduc-

tion aussi sensible du nombre en service ou en approvisionnement pour le rechange, de certains organes constitutifs de ces véhicules (essieux montés, bogies, appareils de suspension ou d'attelage, timonerie de frein, etc.).

La réduction des effectifs nécessaires a eu aussi pour conséquence de nécessiter de moindres longueurs de voies consacrées à la réparation et d'une moindre superficie des ateliers. Les frais d'entretien ont encore, de ce fait, subi une réduction.

*d)* DIMINUTION DES FRAIS DE TRACTION.

L'emploi de wagons de grande capacité a contribué aussi à réduire les frais de traction par tonne utile remorquée; la principale raison est encore ici la diminution du poids mort par tonne de charge utile remorquée; mais, à cette cause, viennent s'en ajouter d'autres d'ordre technique : nous citerons tout d'abord la diminution de la résistance due au vent pendant la marche du fait de la diminution de la longueur des trains, du nombre moins grand et de la surface moindre des parois frontales et latérales des véhicules; en alignement, la réduction du nombre des essieux diminue aussi la résistance au roulement, et cette diminution compense très largement l'accroissement de cette résistance due à l'augmentation du diamètre des fusées des essieux, celle-ci étant necessitée par la charge plus considérable qu'ils supportent. La moindre longueur des trains a aussi pour effet une moindre résistance de ces trains dans les passages en courbe.

Sur le réseau du Pensylvania Railroad (1) où la question de la résistance au roulement semble avoir été étudiée d'assez près, on a trouvé, d'une part, que la résistance par tonne, sur voie en palier, des wagons chargés, est beaucoup plus faible que celle des mêmes wagons vides; d'autre part, que cette même résistance diminue quand on passe du wagon de 60 000 lbs (36,29 t) à celui de 80 000 lbs (45,36 t) sous pleine charge, et de même, quoique à un degré moindre, quand on passe de celui de 80 000 lbs à celui de 100 000 lbs. La formule suivante, applicable seulement en palier et en alignement, établie par les Ingénieurs du Pensylvania Railroad, met en évidence la réduction de la résistance par tonne R lorsque la charge moyenne par wagon P augmente :

$$R = 2{,}02 \text{ kg} - 0{,}01405 \text{ P}.$$

(1) Voir à ce sujet *Annexe du Rapport au Congrès international des Chemins de fer de 1900*, de M. LORRE, directeur des Pensylvania Lines West of Pittsburg.

Elle est, parait-il, assez exacte lorsque P varie de 36 à 68 tm.

A la Compagnie du Southern Pacific, d'après des expériences faites avec des wagons vides et chargés, il a été déterminé que, sur voie en palier, la résistance par tonne varie dans les rapports suivants pour les divers types de wagons :

La résistance par tonne pour le wagon de 75 000 lbs (34,02 t) de poids total étant prise par unité :

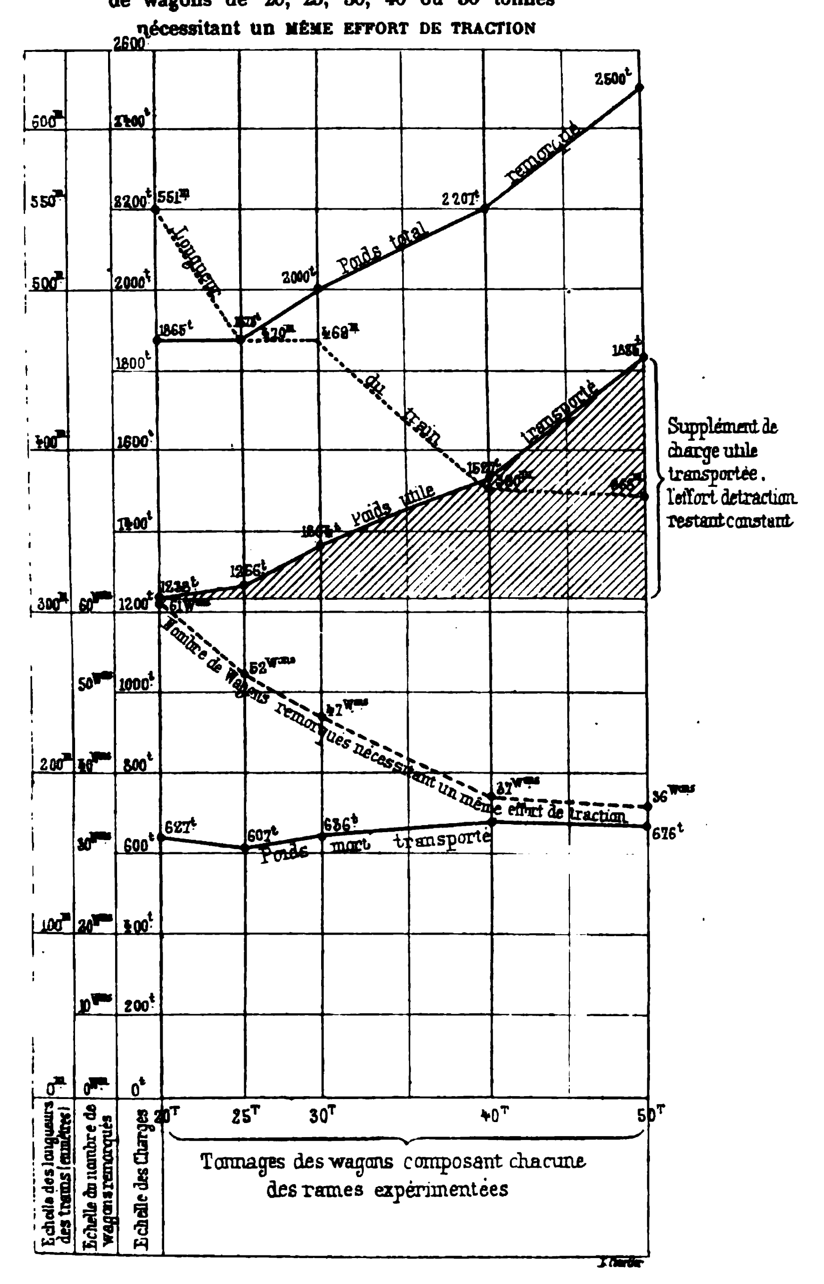
| | | |
|---|---|---|
| Celle du wagon de | 60 000 lbs (27,22 t) est. . . . . | 1,03 |
| — | 50 000 lbs (22,68 t) est. . . . | 1,06 |
| — | 40 000 lbs (18,14 t) est. . . . . | 1,10 |
| — | 30 000 lbs (13,61 t) est. . . . . | 1,17 |
| En dessous de. . . | 30 000 lbs elle est. . . . . . . | 1,25 |

D'autres expériences, dont il a été rendu compte dans un rapport du New-York Railway-Club, ont été faites avec des rames composées d'une façon homogène de wagons de même tonnage : cinq rames composées respectivement de wagons chargés de 20, 25, 30, 40 et 50 t ont été remorquées sur un même parcours dans des conditions atmosphériques aussi identiques que possible; le poids total de ces trains résultant du nombre de wagons chargés, avait été établi de façon à nécessiter approximativement le même effort de traction. Les consommations de houille ont été enregistrées; en établissant, d'après les données réelles des essais, la comparaison des charges utiles remorquées ramenées à des consommations de houille rigoureusement égales, on a trouvé que :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Par rapport à la rame composée de wagons de 20 t. . . | La charge utile remorquée pour la rame des wagons de . | 50 t | était supérieure de . . | 43 0/0 |
| | — | 40 t | — | 21 0/0 |
| | — | 30 t | — | 10 0/0 |
| | — | 25 t | — | 2 0/0 |
| Par rapport à la rame composée de wagons de 30 t. . . | — | 50 t | — | 33,70 0/0 |
| | — | 40 t | — | 11,95 0/0 |

Le graphique n° 3 fait ressortir les suppléments de charge utile correspondant à un même effort de traction et, par conséquent, à égalité de dépense de combustible, que permettent de remorquer respectivement les wagons des tonnages les plus élevés.

**GRAPHIQUE (N° 3) montrant, d'après des expériences en marche, les VARIATIONS DE CHARGE UTILE TRANSPORTÉE et de LONGUEUR DU TRAIN suivant que l'on emploie des rames de wagons de 20, 25, 30, 40 ou 50 tonnes nécessitant un MÊME EFFORT DE TRACTION**



Ces chiffres peuvent donner une idée des avantages réalisés quand il s'agit de trains composés de wagons circulant à plein tonnage, comme les trains de houille ou de minerais. Les économies de frais de traction supplémentaires résultant de l'augmentation de capacité sont maxima dans ce cas; lorsqu'il s'agit, au contraire, de wagons couverts, on peut se demander si l'excédent de tonnage offert pourra être assez bien utilisé pour couvrir les frais de traction supplémentaires résultant de l'augmentation de tare. M. Ely, Ingénieur en chef de la Traction du Pensylvania Railroad a établi des calculs intéressants à propos de la comparaison du wagon couvert de 34′ (10,363 m) de 80 000 lbs (36,29 t) avec le wagon couvert de même longueur de 60 000 lbs (27,22 t) : pour le premier de ces wagons, le tonnage est de 33 0/0 supérieur à celui du deuxième, tandis que le supplément de poids mort n'est que de 10 0/0 supérieur (15,465 t au lieu de 14,6 t). Or, en considérant le parcours moyen annuel des wagons couverts sur le réseau considéré, le prix de revient de la traction de la tonne kilométrique et la recette moyenne correspondante, M. Ely a établi qu'il suffit que le wagon de 80 000 lbs circule seulement 1 km sur 12, avec 7/9 de supplément de charge offerte, pour que les frais de traction supplémentaires attribuables à l'excès du poids mort soient récupérés. Il n'est pas douteux que ce supplément de charge réelle sur une fraction aussi faible du parcours effectif soit le plus généralement atteint et même dépassé pour des wagons couverts; mais, comme nous l'avons dit, pour le cas des wagons découverts affectés au transport des matières pondéreuses, ces conditions sont encore bien plus facilement réalisées.

*e)* MOINDRE ENCOMBREMENT DES VOIES DES GARES, DES QUAIS, ETC.

L'encombrement sur la voie des wagons de grande capacité, et surtout de ceux de fort tonnage, est un nouvel avantage qui vient s'ajouter aux précédents : la moindre longueur des trains, pour une charge utile déterminée, mise en évidence par le graphique qui précède, permet de donner une moindre longueur aux quais de chargement, de déchargement, aux voies de manœuvre ou d'évitement. En Amérique, particulièrement, l'augmentation du trafic a été, en général, si rapide, que les gares et les voies ont reçu un grand développement, mais les dépenses auraient été plus considérables si la capacité du matériel n'avait pas été augmentée.

### *f)* Augmentation de la puisssance de débit des voies de circulation.

### Réduction du nombre des trains.

L'encombrement des voies de circulation a pu également être parfois évité par la réduction du nombre des trains, et on a ainsi pu augmenter la puissance de débit de certaines lignes.

Il eût été impossible, avec l'ancienne capacité des véhicules, d'augmenter le poids total des trains dans les limites absolument extraordinaires qui ont été atteintes aux États-Unis dans ces récentes années.

Sans parler des records spéciaux où la charge remorquée à l'aide de machines puissantes des derniers types a dépassé 5200 t, les charges de trains atteignent très couramment, pour les services directs de transport sur les grandes lignes, 2 000 à 2 700 t sur les sections en palier ou en rampes inférieures à 3,5 mm par mètre, cette charge étant remorquée en simple traction. Sur les sections à profil plus accidenté, la double traction est employée ou le train dédoublé. Sur le Pensylvania Railroad, le livret des charges de trains prévoit 3 200 t sur certaines sections avec un nombre maximum de quatre-vingt-six wagons par train, cette dernière limite n'étant, d'ailleurs, imposée que par la longueur de certaines voies de garage ou d'évitement qui ne dépasse pas 1 100 m.

Sur le New-York Central, la charge des trains de blé atteint couramment 3 600 t (quatre-vingts wagons de 27 t); sur le Pittsburg and Erié Railroad, il circule chaque jour des trains, remorqués par une seule machine, de 4 000 t derrière le tender. Ces charges, absolument extraordinaires, n'auraient jamais pu être pratiquement atteintes avec des wagons à faible ou moyen tonnage.

On a pu, grâce à ces trains lourds, obtenir sur certains réseaux des résultats réellement remarquables : c'est ainsi que, sur le New-York Central, de 1898 à 1899 :

| | | |
|---|---|---|
| Le trafic marchandises a augmenté de. . . . | | 8 1/2 0/0; |
| La dépense d'exploitation a diminué de. . . . | | 1 910 000 f |
| La dépense de traction | — de. . . . | 2 240 775 |

Il n'y a eu qu'un très léger accroissement du parcours-machines, et il s'est produit une diminution de parcours des trains de 812 728 km ou 3 1/2 0/0.

## Résultats économiques de l'augmentation de la capacité des wagons. Sa part dans l'amélioration de la situation financière des chemins américains.

En résumé, grâce au développement simultané et continu de la puissance et de la capacité du matériel de traction et de transport, les réseaux américains ont pu, moyennant des dépenses d'ailleurs considérables de premier établissement pour l'amélioration des voies et des ouvrages d'art, faire face à une augmentation de trafic d'une rapidité et d'une importance extraordinaires; ils ont pu ainsi améliorer, dans ces dernières années, les rendements financiers de leurs lignes fort compromis, il y a peu de temps encore, pour beaucoup d'entre elles par une concurrence excessive, qui avait produit progressivement une réduction continue et véritablement exagérée des tarifs appliqués (1).

Mais il ne faut pas perdre de vue que la nature du trafic des marchandises, en Amérique, se prête tout particulièrement à l'application des méthodes d'exploitation dont nous venons de donner une idée et consistant à employer des trains très lourds desservant des courants directs et réguliers, remorqués par de puissantes locomotives et formés de wagons de très grande capacité. C'est en Amérique que s'est produit le concours des circonstances les plus propices à cette évolution du matériel à marchandises; nous venons de voir pour quelles raisons elle a été, particulièrement dans ce pays, utile ou nécessaire, à quelles conditions et moyennant quelles dépenses elle a été possible, quelle en a été l'ampleur et quels avantages elle a contribué à réaliser.

(1) En 1898, les deux tiers des Chemins de fer américains ne touchaient aucun dividende et le huitième des obligations ne donnait aucun revenu.

D'autre part, M. Edwin A. Pratt, dans son ouvrage *American Railways*, donne les renseignements suivants :

De 1876 à 1891, il y a eu, en Amérique, 638 réseaux placés sous sequestre; leur étendue était de 184 022 km et le capital correspondant de 31 491 millions de francs.

Au 30 juin 1894, il n'y avait plus que 194 chemins placés sous sequestre; l'ensemble de ces chemins représentait encore le *quart* du réseau total des États-Unis.

Au 30 juin 1901, le nombre des chemins sous sequestre était tombé à 45, d'une étendue totale de 4 000 km seulement, et le capital-actions correspondant n'étant plus que de 245 millions de francs.

Les principales Compagnies de Chemins de fer américains se trouvent actuellement dans une période de grande prospérité.

## III. — GRANDE-BRETAGNE

### Caractéristique du matériel à marchandises anglais. Petite capacité.

Après l'Amérique, nous avons à considérer l'Angleterre. Le contraste est frappant : la très petite capacité des wagons a été, jusqu'alors, la caractéristique du matériel à marchandises des chemins de fer du Royaume-Uni.

Si l'on fait abstraction de très rares exceptions de wagons de types exceptionnels pour transports spéciaux ou pour masses indivisibles, la presque totalité de l'effectif consistait, jusque dans ces dernières années, en wagons à deux essieux, de type et d'aspect assez uniformes, la plupart à châssis et caisse en bois, souvent encore avec tamponnement sec (1), plus récemment à châssis métallique et à membrure de caisse parfois aussi métallique.

Pour les wagons *découverts*, appartenant aux Compagnies et affectés au transport des houilles et minerais, le tonnage est généralement de 8 ou 10 t, et seulement de 7 t pour les wagons du London North Western Railway; la tare varie de 5,5 t à 6 t, ce qui fait ressortir un rapport de la charge utile au poids total variable de 57 à 65 0/0, le plus souvent très voisin de la valeur, relativement peu élevée, de 60 0/0. Ces wagons sont courts, à faible empattement; la longueur est généralement de 15′ à 16′ (4,572 m à 4,877 m); les bords sont peu élevés, leur hauteur au-dessus du plancher est généralement comprise entre 2′2″ et 2′11″ (0,66 m et 0,89 m); rarement elle atteint ou dépasse 3′ (0,914 m), de sorte que, si l'on considère que la largeur du gabarit des chemins anglais est plus faible que celle usitée sur le continent, le cube de la caisse est excessivement réduit; les extrêmes sont assez bien représentés par les capacités de 6,500 m³ pour certains wagons découverts du Caledonian Railway, et 10,800 m³ pour ceux du Great Central; il arrive donc souvent que, pour les wagons de tonnage nominal de 10 t, le chargement de houille n'atteint ce poids qu'en profitant du dos d'âne du chargement même.

(1) Le tamponnement sec ne sera plus admis sur les wagons particuliers anglais à partir du 1er janvier 1910.

Pour les wagons *couverts*, le tonnage varie de 6 à 10 t, pour une tare de 5,4 t à 7,2 t; la longueur de la caisse est généralement de 16′ (4,877 m), rarement plus.

Telle était la situation du matériel anglais jusque dans ces dernières années au point de vue des conditions techniques d'établissement et de la capacité; il semble donc qu'il y ait eu des raisons spéciales pour que le trafic anglais s'accommodât de ces petits wagons, malgré la forte proportion de matières pondéreuses, qui fournissent en tonnage plus de 70 0/0 de ce trafic, en assurant les trois huitièmes de la recette totale brute.

Ce n'est que depuis quatre ou cinq ans que l'attention a été appelée, en Angleterre, sur l'évolution déjà produite, au point de vue qui nous occupe, dans la plupart des autres pays, voire même dans les Colonies anglaises, et sur les résultats donnés, particulièrement en Amérique, pour les wagons de très grande capacité. La question d'augmentation de capacité du matériel fut alors mise à l'étude par diverses Compagnies, et quelques applications de wagons de tonnage ou de capacité plus considérables furent faites ou décidées à titre d'essai. Nous énumérerons plus loin les principales de ces applications, mais, pour en revenir au matériel anglais tel qu'il existe dans son ensemble, il est intéressant de déterminer la raison d'être de tendances conservatrices aussi accusées, et du maintien aussi exclusif et aussi prolongé des unités de transport de petites dimensions, telles à peu près qu'elles avaient été adoptées à l'origine.

## Raisons particulières à la Grande-Bretagne qui ont perpétué l'emploi des wagons de petite capacité. Usages commerciaux. — Wagons particuliers.

Dans son rapport au Congrès des Chemins de fer de 1900, M. Owens, Directeur général du London and South Western Railway, exposait très nettement que les Compagnies anglaises étaient encore actuellement, suivant ses propres termes, gênées par les charges de leur héritage; le petit wagon, lors de la création des premiers chemins anglais, répondait parfaitement aux besoins et aux usages du commerce; son faible tonnage était suffisant pour l'importance des expéditions; les commerçants ou les industriels avaient pris l'habitude de procéder, pour leurs commandes, par petites quantités, attachant un grand prix à la li-

vraison fréquente et prompte des marchandises; les services commerciaux des Compagnies anglaises ont bien cherché, à plusieurs reprises à augmenter, par le jeu des tarifs, le volume des expéditions, mais cette tentative n'a pas été suivie de succès (1). D'autre part, les Compagnies anglaises n'ont jamais possédé en propre qu'une partie du matériel nécessaire à leur trafic; elles ont, dès le début, sous le bénéfice de la loi de 1830, encouragé et favorisé la construction de wagons particuliers, de sorte que les industriels qui ont fait construire du matériel pour leur usage ont, bien entendu, adopté les unités de transport les moins coûteuses et celles dont l'emploi nécessite, pour les raccordements et voies d'usines, les installations les moins onéreuses; les entreprises de location de matériel avaient aussi tout avantage à mettre à la disposition des industriels des unités de la plus faible capacité. Pour ces diverses raisons encore, les wagons particuliers furent de petits wagons, et c'est par centaines de mille qu'il en a été construit. Sur un peu plus de 1 100 000 wagons à marchandises circulant sur les Chemins anglais, plus de 500 000 sont des wagons particuliers; attelés ensemble, leur longueur couvrirait quatre fois la distance de Londres à Édimbourg; sur certaines Compagnies, le nombre des wagons particuliers immatriculés est notablement supérieur à l'effectif du parc même de ces Compagnies (2). On s'étonne moins, dans ces conditions, des tendances conservatrices si accusées qui caractérisent, aussi bien au point de vue de la capacité que des conditions techniques d'établissement, le matériel en usage sur les voies anglaises, alors que pour le matériel à voyageurs et le matériel de traction, au contraire, l'Angleterre marche de pair avec les autres pays dans la voie de la transformation et de l'amélioration des types successivement réalisés.

La construction des lignes anglaises, d'ailleurs déjà pour la plupart relativement anciennes maintenant, s'est donc effectuée en tenant compte des dimensions très réduites des wagons; les dispositions des gares, des voies de manœuvre, des quais de chargement ou de déchargement accessibles seulement par plaques tournantes, les dimensions de ces plaques ou leur espacement ne permettraient pas, en beaucoup de points, l'utilisation de wagons

(1) Le chargement moyen des marchandises ordinaires sur les lignes anglaises variait, en 1900, entre 25 et 40 quintaux (1,270 t à 2,030 t).

(2) Voir, dans *The Railway Engineer*, août 1903, l'article : *Les droits des propriétaires de wagons particuliers et le public.*

de plus grandes dimensions; des remaniements importants et coûteux seraient indispensables; il en est de même pour les raccordements industriels, pour les installations d'usines à gaz, de charbonnages, pour les appareils de chargement ou de déchargement dans les docks et les ports, etc. Pour ces diverses raisons, une transformation radicale, générale et subite de l'outillage de transport n'a pas été considérée comme possible : l'emploi du petit wagon s'est donc perpétué d'année en année jusqu'à présent, et c'est ainsi qu'on a continué à considérer que le wagon relativement petit était l'unité la plus commode et même la plus économique pour le trafic général ou de détail des Compagnies anglaises.

C'était la conclusion du rapport de M. Owens au Congrès international des Chemins de fer. Toutefois, M. Owens reconnaissait parfaitement que les grands wagons, dont la caractéristique est de réduire le rapport du poids mort à la charge payante, peuvent dans des cas bien déterminés, présenter de grands avantages; que le montage sur bogies du matériel à marchandises est également susceptible de procurer des économies pour la voie et la traction, et il estimait que, malgré les conditions particulières aux Chemins anglais, il convenait de s'abstenir de croire que rien ne devait être fait ou entrepris dans ce sens. On a d'ailleurs pu observer, d'après les articles parus dans les journaux techniques, et même dans les grands quotidiens comme le *Times* (1), qu'il s'est produit, depuis 1900, un mouvement d'opinion assez marqué, accusant une tendance, de la part des Compagnies les plus importantes, à profiter de cas particuliers ou de circonstances favorables pour mettre à l'essai de nouveaux types de véhicules en vue de réaliser une plus grande capacité (2).

(1) Les treize articles parus dans le *Times*, du 5 janvier au 5 juin 1903, ont été réunis en un volume : *American Railways*, par M. Edwin A. Pratt, qui avait effectué un voyage de quatre mois sur les chemins américains. Cet ouvrage a été édité par Macmillan and C°, Lim^d, London et New-York.

La question de l'augmentation de la capacité des wagons à marchandises a été aussi récemment portée à la tribune de la Société des Ingénieurs Civils anglais; trois mémoires ont été présentés sur cette question par MM. J. D. Twinberrow, A. L. Shackleford et J. T. Jepson, et ont donné lieu à une intéressante discussion (Voir *Minutes of proceedings* du 23-2-04).

(2) Il est important de remarquer aussi que, dans ces dernières années, les constructeurs anglais ont livré aux colonies de l'Empire Britannique du matériel de grande capacité en quantité importante, notamment pour les Indes, le Sud de l'Afrique, l'Australie, etc., même pour les lignes à voie de 1 m.

## Applications et essais récents du matériel de moyenne et de grande capacité. Wagons de 20 tonnes, à deux essieux. Wagons à bogies, de 30 à 40 tonnes (1).

C'est ainsi que le North Eastern Railway a mis en essai des wagons à caisse en bois, à deux essieux, de 15 et 20 t, étudiés par la Compagnie même, concurremment avec deux types différents de wagons à bogies à déchargement automatique, de 40 t, l'un établi en tôle et profilés par la Darlington Wagon C°, suivant les projets de MM. Twinberrow et Sheffield, l'autre en tôles embouties, suivant les procédés Fox exploités en Angleterre par la Leed's Forge C°. Ces wagons sont utilisés concurremment pour le transport des houilles des puits de Woodhom au port de Blyth, près Newcastle (distance 12 km), où les installations de déchargement dans les bateaux rendent possible l'emploi de ces nouveaux types.

Le Caledonian Railway, qui a déjà un effectif assez considérable de wagons portant 10 t de houille et 14 t de minerai, a également mis en essai, en 1899, un certain nombre de wagons à bogies de 30 t pour les houilles, pouvant charger 50 t de minerai, sans déchargement automatique, d'un type étudié par M. Mac Intosch, Ingénieur en chef de la Traction et du Matériel roulant de cette Compagnie. Le châssis est en profilés, et la caisse est à membrure métallique avec frisage en bois; la tare est relativement élevée, un peu plus de 18 t. Actuellement, le Caledonian Railway possède trois cents wagons de 30 t, d'une tare beaucoup plus faible, jusqu'à 12,8 t, de diverses provenances, entre autres de la Leed's Forge C°; les premiers wagons de 30 t construits ont servi pour le transport des houilles entre les mines et les dépôts de locomotives, on les utilise maintenant aussi pour le trafic général.

Le Midland Railway utilise dans les mêmes conditions, c'est-à-dire pour le transport des houilles du service de la traction, cinquante wagons de 30 t (tare 13,3 t), et le London North Western Railway, soixante-dix wagons à deux essieux, de 20 t, aussi

(1) La *Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen* a publié de nombreux articles dans ces dernières années sur l'augmentation de la capacité du matériel à marchandises dans divers pays, et en particulier pour l'Angleterre, dans les n°s 14 et 15, des 18 et 20 février 1903, sous la signature de M. Frahms.

dans les mêmes conditions. De même, le Great Western Railway possède en plus grand nombre (quelques centaines), des wagons de 20 t, à deux essieux, avec caisse en tôle, une partie avec portes latérales et une partie à trémie, avec déchargement automatique. Le Great Eastern Railway a mis en essai quelques wagons des mêmes types que la précédente Compagnie; de même le Great Central Railway, qui met en comparaison, sur ces nouveaux wagons à deux essieux, la construction en profilés et celle en emboutis, a, en outre, quelques wagons à bogies, de 30 t. Cette dernière Compagnie a fait aussi construire récemment quelques wagons couverts de 15 t. Le London and South Western Railway a mis en service seize wagons de 40 t, à bogies, avec trémies. Enfin, il y a eu quelques wagons commandés en Amérique à la Pressed Steel Car C°, par exemple par la Furness Railway C°.

En résumé, quelques centaines de wagons à bogies de grande capacité sont en service courant sur les lignes du Caledonian Railway et du North Eastern Railway. Les tonnages adoptés y sont respectivement de 30 et 40 t. On en rencontre, en outre, quelques unités, mais à titre d'essai seulement, sur le Midland Railway, le Great Central Railway, le Lancashire and Yorkshire Railway, le London South Western Railway. D'autre part, des wagons de 20 t à deux essieux, soit à trémies, soit plus généralement à fond plat, ont été mis en service sur le London North Western Railway, le Great Western, le Great Eastern, le North Eastern, le Caledonian et le Great Northern, mais le nombre total n'en est pas encore bien considérable.

On voit donc que ces applications de la moyenne et de la grande capacité sont encore peu nombreuses, et les essais semblent n'avoir été entrepris jusqu'alors par diverses Compagnies qu'avec une certaine timidité. Et cependant, le trafic des matières pondéreuses (houilles et minerais) est, comme nous l'avons dit, très considérable; le transport à pleine charge de trains lourds, au moins dans un sens, pourrait donc s'effectuer, sur d'assez faibles distances il est vrai; les voies en Angleterre sont, en général, robustes et bien entretenues, et peuvent supporter des charges relativement fortes par essieu; ce sont là toutes considérations très favorables à l'emploi de grands wagons, mais nous avons fait ressortir les deux raisons principales qui, en Angleterre, ont empêché, et seront encore pendant quelque temps de nature à enrayer le développement des wagons de plus grande

capacité : d'une part, les dépenses considérables qui seraient nécessaires pour la transformation des installations existantes, aux conditions desquelles ont été adaptés les engins de transport jusqu'alors en usage; d'autre part, et surtout, l'emploi par les Compagnies, dans une proportion énorme, de wagons appartenant à des particuliers. Ce système favorise l'emploi de petites unités de transport, et paralyse vraisemblablement, dans une certaine mesure, les efforts tentés par les Compagnies de Chemins de fer pour agrandir ces unités ; les grands propriétaires loueurs de wagons, réunis d'ailleurs en Association, semblent avoir été jusqu'alors les principaux adversaires des grands wagons à minerais. Toutefois, dans cet ordre d'idées, les nouvelles prescriptions techniques édictées récemment par le Clearing House Comitee pour les conditions auxquelles devront satisfaire les wagons particuliers de 15 t, 20 t et 30 t prouvènt que certains industriels se préoccupent d'employer de tels véhicules, et ces prescriptions seront, en tout cas, de nature à faire songer progressivement, pour le matériel neuf à construire, à l'abandon des anciens tonnages réduits.

Quant au matériel propre des Compagnies anglaises, il est vraisemblable aussi que les essais entrepris se multiplieront, ou porteront d'ici peu sur des effectifs plus importants; à mesure que s'augmentera le nombre des wagons de plus grande capacité construits par les Compagnies pour le transport des houilles du Service de la traction entre les mines et les dépôts, les occasions d'utiliser ce matériel pour le trafic général auront des chances de devenir plus fréquentes; elles permettront ainsi de lever les appréhensions relatives à la difficulté de son emploi, et d'apprécier ses avantages. A mesure que, d'autre part, les anciennes installations fixes devront être modifiées, soit par suite de vétusté, soit par la nécessité de remaniements qui s'imposent, il ne nous paraît pas douteux que les Chemins anglais aient des occasions de plus en plus nombreuses d'utiliser, entre des centres définis, et pour des transports bien déterminés, des véhicules de capacité notablement plus grande que celle qu'ils ont conservée jusqu'alors par sujétion, et peut-être aussi par esprit de tradition.

## IV. — ALLEMAGNE

Avec l'Allemagne, nous abordons les pays de *moyenne capacité* (1) :

### Historique de l'augmentation de la capacité des wagons.

#### Première période antérieure a 1880. Wagon normal de 10 tonnes.

Les premiers chemins de fer allemands construits utilisèrent des wagons d'un tonnage de 4,5 t, supérieur, à la même époque, à celui usité en France et en Angleterre ; puis on passa successivement à des tonnages de 6 à 9 t, avec une assez grande diversité de types ; toutefois, sous l'influence de tarifs basés sur l'unité de 10 000 kg, le wagon de 10 t ne tarda pas à devenir le wagon normal, qui fut le plus généralement construit jusque vers l'année 1880.

#### Deuxième période 1880-91. Wagons transformés de 10 a 12,5 tonnes. Premières applications du tonnage de 15 tonnes.

A cette époque, l'heureuse influence de l'augmentation de la capacité des wagons sur les frais de transport ayant dejà été reconnue, on modifia le tonnage d'un nombre assez considérable de wagons existants, surtout de wagons découverts, en le portant de 10 à 12,5 t par le simple renforcement des organes de roulement et de suspension, le châssis métallique de ces véhicules ayant été reconnu très suffisamment solide pour supporter cette augmentation du poids du chargement.

Toutefois, cette solution ne fut considérée que comme un expédient et, vers la même époque, l'État Prussien commença à construire des wagons découverts de 15 t pour le trafic des houilles. Pendant une dizaine d'années, un assez grand nombre de wagons de ce tonnage fut mis en service.

(1) Les détails historiques que nous donnons sur l'évolution de la capacité du matériel allemand et, en particulier, de l'État Prussien, ont été empruntés en partie au rapport présenté au Congrès des Chemins de fer de 1900, par M. de Marx, Conseiller ministériel, Directeur de l'Exploitation des Chemins de fer de l'État Hongrois, et à une étude publiée dans *Zeitung des Vereins* (n° 23 du 21 mars 1903), par M. le conseiller Droner, à Essen.

### Troisième période postérieure a 1891.
### Wagon « normal » de 15 tonnes.

En 1891, on fut amené à déterminer la limite de tonnage à fixer d'une façon normale pour les wagons à marchandises (1) : la capacité de chargement de 12,5 t ne semblait guère recommandable, le fractionnement du tonnage par 5 t paraissant mieux convenir au public et au chemin de fer; le tonnage de 20 t fut alors exclu parce que la charge de 14 t de poids total sur rails par essieu qui en résulte ne semblait pas admissible pour la circulation sur les chemins secondaires, de sorte que les Administrations furent amenées à choisir le chiffre de 15 t comme capacité de chargement maximum des wagons à marchandises, et le wagon de 15 t à deux essieux, à châssis métallique, devint le type « normal » pour toutes les constructions de matériel roulant, en wagons découverts, plats ou couverts.

Au point de vue technique, c'est-à-dire sous le rapport des frais de premier établissement et d'entretien du matériel d'une part, et des dépenses d'exploitation d'autre part, il n'était pas douteux que le wagon de 15 t fut trouvé avantageux par rapport au wagon de 10 t, deux wagons de 15 t rendant le même office que trois wagons de 10 t. C'est ce que constatait M. de Marx, Directeur de l'Exploitation des Chemins de fer de l'État Hongrois, dans le rapport qu'il présenta au Congrès de 1900 pour les chemins de fer faisant partie de l'Union allemande. Il signalait, en outre, qu'après l'adoption de quelques mesures tendant à familiariser le public avec l'utilisation complète des wagons de 15 t, soit en tonnage, soit en volume, les résultats favorables constatés développèrent d'une façon continue l'emploi du wagon de 15 t, non seulement sur les chemins de l'État de Prusse et de l'Empire, mais aussi sur un grand nombre des autres Administrations faisant partie de l'Union.

### 1891. Premiers essais de wagons de grande capacité.
### Direction de Cologne de l'État Prussien.

Quant aux wagons à bogies, leur type en avait été rejeté lors

(1) Voir *Bulletin de l'Union des Chemins de fer Allemands* (n° 6, 1891).

de la fixation de la limite de tonnage décidée en 1891 ; les diverses Administrations consultées considéraient alors que ces véhicules devaient être d'un entretien plus coûteux et plus difficile, et même qu'ils offraient moins de sécurité que les wagons à deux essieux parce que la visite en est moins facile. Toutefois, la Direction des Chemins de fer de l'État Prussien de Cologne fut chargée d'étudier, à cette époque, un wagon à houille de 30 t sur bogies. Cent wagons de ce type furent construits sur deux modèles différents : l'un avec portes latérales pour décharger sur le côté, l'autre avec trappes dans le plancher pour déchargement par en dessous. Les tares de ces wagons étaient respectivement de 15,6 t et 17,2 t. Ils furent mis en service dans les districts houillers de Westphalie et de Silésie ; quelques-uns furent aussi réservés à la Direction de Hanovre pour le transport des laines. Ces essais furent tout à fait infructueux : les wagons en question ne plaisaient ni aux expéditeurs, ni aux destinataires en raison des difficultés spéciales qu'ils éprouvaient pour leur manœuvre, leur pesage et le tournage sur plaques. Aussi la Direction de Cologne prit-elle le parti de les transformer, en 1895, en wagons plats.

## 1899. Nouveaux essais de la Direction d'Essen.

En 1899, l'attention fut appelée de nouveau sur les wagons américains de grande capacité et la Direction d'Essen fut chargée, par le Ministère des Travaux Publics, d'une nouvelle étude. On fit l'acquisition de wagons de deux modèles différents : l'un de 40 t de la Pressed Steel Car C°, l'autre du système Talbot, d'Aix-la-Chapelle, à déchargement automatique latéral, portant 30 t sur troix essieux (1). De nouveau, on estima, lors des essais, que les grands wagons de 40 t étaient difficilement utilisables, à moins d'engager d'énormes dépenses pour la transformation des voies et des installations de chargement et déchargement des gares, des mines et des établissements industriels. Quant aux wagons Talbot à trois essieux, d'un tonnage de 30 t, on leur reprocha alors leur cube utilisable relativement faible, malgré les avantages du déchargement automatique par trémies avec

(1) Le wagon Talbot essayé en 1899 était à déchargement complet automatique, sur l'un ou l'autre côté à volonté, les trappes des parois latérales s'ouvrant au-dessus de tôles inclinées.

trappes latérales (1). De sorte que ces essais n'eurent pas encore de sanction immédiate.

## Essais postérieurs a 1903.

### Applications récentes de tonnages supérieurs a 15 tonnes.

En 1903, la question est reprise et l'État Prussien fit construire un nouveau lot de wagons Talbot à trois essieux de 30 t à déchargement automatique et à titre d'essai, pour le bassin de la Ruhr, deux cents wagons à houille de 20 t de capacité, avec tôles d'acier embouties, de façon que la tare ne dépasse pas 8 t, car jusqu'alors on s'est toujours attaché, en Allemagne, à ne pas dépasser le poids total sur rails de 14 t par essieu prescrit par les Conventions techniques de l'Union (2). Ces prescriptions sont, d'ailleurs, toujours en vigueur d'une façon générale, bien que nous croyons savoir que, sur un certain nombre de lignes, le dépassement de cette limite soit autorisé exceptionnellement.

D'autre part, les chemins de fer d'Alsace-Lorraine, de l'État Badois et de l'État de Saxe, ont récemment mis à l'essai respectivement 50, 15 et 35 wagons Talbot de 20 t.

Enfin, nous citerons les Chemins de fer Royaux de Bavière qui ont commandé récemment à la Vereinigte Maschinen Fabrik d'Augsbourg et Maschinen Gesellschaft de Nuremberg, trente

(1) Depuis cette époque, le wagon Talbot a cependant reçu, en Allemagne, quelques applications, et un assez grand nombre de wagons aurait, paraît-il, été également construit pour des Sociétés industrielles.

L'État Belge utilise également depuis peu, vingt wagons Talbot de 15 t sans trémie à déchargement latéral, pour le transport du ballast.

La maison Talbot a récemment construit un type de wagon normal à déchargement rapide, présentant la particularité suivante : la portion du plancher surplombant les longerons du châssis s'abaisse extérieurement sur charnières ; l'ouverture des volets des parois latérales permet la chute du chargement qui trouve sur les bords mobiles rabattus du plancher, une surface lisse de glissement.

La Compagnie de l'Est Français avait exposé à l'Exposition de Paris de 1889 un wagon, système Méraux pour le transport du ballast et des marchandises meubles, comme la houille et le minerai. Les wagons Talbot présentent de grandes analogies avec le wagon Méraux.

(2) Le texte des Conventions techniques de l'Union des Chemins de fer allemands, en ce qui concerne le poids des wagons à marchandises sur rails, est le suivant :

Chapitre B. — Construction et entretien du matériel roulant.

*a.* — Prescriptions générales.

§ 66. — Nouvelle rédaction du supplément II de décembre 1900.

| | |
|---|---|
| Pression statique. | 1. — La pression statique d'un véhicule quelconque en pleine charge ne doit pas dépasser 7 000 kg par roue. |
| | . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . |
| Succession des roues. | 3. — Le poids total (tare et chargement) par mètre de longueur de véhicule, tampon compris, ne dépassera pas 3 100 kg. |

wagons à bogies de 38 t, d'une tare relativement élevée de 17,9 t, pour lesquels le poids total sous charge ne dépasse pas toutefois 14 t par essieu.

En résumé, ainsi que le faisait remarquer M. de Marx dans son rapport au Congrès de 1900, les Administrations de chemins de fer allemandes ont jusqu'alors procédé avec une certaine hésitation et une extrême circonspection à l'emploi de wagons de grande capacité. Toutefois, les essais réitérés que nous venons de citer, et peut-être d'autres tentatives plus récentes dont nous n'aurions pas eu connaissance, prouvent l'intérêt qu'on prête, dans ce pays, à cette question de l'augmentation de la capacité ; nous ne serions pas étonné d'apprendre que de même qu'on a reconnu il y a une quinzaine d'années que le wagon normal de 15 t offrait de très grands avantages par rapport au type normal antérieur de 10 t, on reconnaisse prochainement que le wagon à deux essieux de 20 t, surtout pour les wagons découverts, à houille et à minerai, est susceptible d'offrir, par rapport au wagon de 15 t, des avantages non moins précieux tout au moins dans certaines régions, comme en Westphalie, et que l'emploi de ces wagons s'étende assez rapidement, en même temps que pourront devenir plus nombreuses les applications du matériel à bogies.

## V. — FRANCE

### Historique de l'augmentation de la capacité des wagons à marchandises des réseaux français.

En France, les progrès réalisés, surtout depuis quelques années, quant à l'augmentation de la capacité des wagons, ont été sensiblement plus marqués que ceux qu'il nous a été donné d'observer en Allemagne et surtout en Angleterre.

#### Wagons de tonnage inférieur a 10 tonnes.

Le matériel de faible tonnage de 5 à 7 t n'est plus représenté que par quelques rares véhicules subsistants des lots les plus anciens.

Le tonnage de 8 t se trouve encore assez fréquemment pour des wagons couverts ayant d'ailleurs, eux aussi, actuellement une trentaine d'années d'existence.

### Wagons de 10 tonnes.

Le tonnage de 10 t fut employé dès 1855; il a été appliqué presque exclusivement à tout le matériel neuf construit par les réseaux français, particulièrement dans la période de 1870 à 1890 (1), de sorte que les véhicules de 10 t constituent environ les deux tiers de l'effectif total actuel du matériel français.

Si l'on excepte les véhicules, d'ailleurs en très petit nombre, présentant un tonnage supérieur à 10 t et construits en vue de transports tout à fait spéciaux, le tonnage de 10 t représentait donc en France, il y a une vingtaine d'années, l'unité commerciale la plus usuelle, d'ailleurs très commode, surtout pour les matières pondéreuses.

### Wagons de 15 tonnes. — Constructions neuves sur ce type. Augmentation de la capacité de matériel de tonnage inférieur a 15 tonnes, par voie de transformation.

C'est en 1879 que l'on voit apparaître, pour la première fois, le tonnage de 15 t; la Compagnie de l'Est l'appliqua à un premier lot de wagons plats de plus grande longueur que celle des wagons de même type jusque-là construits, mais on estima devoir y appliquer un troisième essieu. La Compagnie P.-L.-M. en construisit également 250 quelques années plus tard, en 1882, mais sur 2 essieux seulement. Puis, il faut aller jusqu'en 1891 pour trouver de nouvelles et plus fréquentes applications du tonnage de 15 t. On était à cette époque déjà beaucoup plus édifié sur la valeur et la résistance que conservent les châssis métalliques, après un nombre d'années de service assez considérable. Lorsqu'on avait étudié les premiers châssis métalliques, on avait prévu une construction très robuste, en vue de leur permettre de résister non seulement à la charge statique qu'ils doivent supporter, ainsi qu'aux vibrations et aux chocs, mais aussi à l'oxydation, sous l'action du temps, des intempéries et de certains changements humides, ou parfois des opérations de désinfection. Or la pratique permit de reconnaître que grâce à un entretien soigné de ces châssis, consistant surtout en opérations de peinture, les assemblages et les rivures des tôles et

(1) Sur le réseau de l'Est, le tonnage de 10 t a été adopté d'une façon générale dès l'année 1853. Il y avait déjà 8 100 wagons de 10 t en service sur ce réseau en 1860.

profilés n'étaient pas rapidement attaqués par la rouille, et ne l'étaient pas aussi vite, à beaucoup près (1) qu'on aurait pu le craindre tout d'abord ; l'expérience que l'on a maintenant de ce mode de construction, aussi bien en France qu'en Allemagne, permet d'estimer à environ 60 années la durée moyenne des châssis métalliques des wagons. Il parut donc rationnel d'utiliser pour certaines catégories de wagons l'excès de résistance des châssis pour les rendre susceptibles de porter un chargement plus considérable. C'est en raison de ces considérations que les wagons plats construits par la Compagnie de l'Est à partir de 1891 eurent leur tonnage porté à 15 t, sans addition d'un troisième essieu et sans autre modification, par rapport au type antérieur à 10 t, que l'application d'organes de roulement et de suspension correspondant au nouveau tonnage adopté. On obtint ainsi une augmentation de capacité de tonnage de 50 0/0 moyennant une majoration de prix bien modique de 4 à 5 0/0 de la valeur totale du véhicule.

Il en fut de même pour les wagons à houille prévus au nouveau tonnage de 15 t : les premiers wagons à houille de 15 t conservèrent la même caisse que ceux de 10 t qui n'avaient qu'un cube utilisable de 12,436 m³. Or on n'obtenait un plein tonnage qu'avec des marchandises très lourdes, comme les minerais ou les briques ; il était désirable de pouvoir charger aussi 15 t de houille ; aussi pour les constructions de wagons de ce genre qui suivirent, de 1895 à 1898, la longueur du châssis fut-elle augmentée et le volume de la caisse porté à 19,400 m³ ; la majoration de prix résultant de l'augmentation de longueur du véhicule et du volume de la caisse ne fut d'ailleurs pas d'un ordre plus élevé que celle due à l'accroissement du tonnage.

Parmi les autres applications en France du tonnage de 15 t, nous citerons : les wagons découverts, étudiés spécialement par la Compagnie du Nord pour le transport des laines et cotons, de 17,700 m³ de volume de caisse ; 2000 wagons-tombereaux de la Compagnie du Midi construits depuis 1898 ; la Compagnie P.-L.-M. a construit aussi quelques séries de wagons plats. Nous devons aussi citer un lot important de wagons couverts de cette dernière Compagnie, environ 10000, qui ont été construits avec le tonnage intermédiaire de 13 t.

(1) Voir à ce sujet, une note sur « la Conservation, l'Entretien et la Durée probable du matériel roulant à châssis et carcasse de caisse métalliques » par M. L. Tolmer, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Chef des ateliers de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, à Mohon (Ardennes). (Numéro de mai 1896 de la *Revue Générale des Chemins de fer.*)

Les avantages constatés au point de vue de la réduction du poids mort par rapport à la charge utile du fait de l'emploi du tonnage de 15 t amenèrent aussi certaines Compagnies à opérer des transformations avantageuses du matériel existant en vue d'augmenter le tonnage, ce qui était logique puisqu'on avait pu, sans aucun inconvénient, constituer dans certaines séries, du matériel neuf d'un tonnage plus élevé que l'ancien sans changer absolument rien aux divers éléments constitutifs des véhicules, abstraction faite bien entendu des organes de roulement et de suspension. De nombreuses transformations ont été faites dans cet ordre d'idées; nous citerons notamment à la Compagnie de l'Est celles de wagons à houille et de wagons plats à 10 t en wagons à 15 t; ces modifications se poursuivent encore aujourd'hui à mesure que les opérations d'entretien nécessitent des remplacements de ressorts et d'essieux : en faisant coïncider la transformation de tonnage avec ces remplacements, on opère dans les conditions les plus économiques. De même, la Compagnie P.-L.-M. a profité dans ces dernières années de remplacements d'essieux pour transformer un nombre relativement considérable de véhicules, wagons couverts de 8 t portés à 13 t, wagons découverts de 10 t portés à 15 t.

Aujourd'hui le nombre total de wagons de 15 t entre pour une proportion de plus de 15 0/0 dans l'ensemble de l'effectif du matériel français.

## Wagons de 20 tonnes a deux essieux. Nombreuses applications de matériel de ce type dans les dernières années.

L'étape récente la plus importante qui a été franchie en France, sous le rapport de l'augmentation de la capacité, a été la construction de matériel de types courants de 20 t sur deux essieux dont nous avons vu quelques applications commencer à se produire, à titre d'essai seulement jusqu'alors, en Allemagne et en Angleterre.

Le premier essai de l'espèce a été fait par la Compagnie de l'Est, en août 1895. Cette Compagnie a fait usage de tout temps de deux modèles de wagons découverts, l'un dit wagon L du type tombereau à bords relativement peu élevés (1,20 m), plus spécialement réservé au transport des houilles et minerais, l'autre, dit wagon H à hauts bords (1,60 m), pour marchandises plus encombrantes. C'est le premier de ces modèles qui s'est

prêté à la transformation de 10 en 15 t; en partant des mêmes considérations qui avaient fait reconnaître avantageuse cette modification, on se demanda s'il ne convenait pas de profiter à la fois de la résistance du châssis et du grand volume de caisse des wagons H pour être plus hardi et leur faire porter 20 t au lieu de 10 t. L'essai porta sur 20 wagons dont on changea les essieux et les ressorts, un léger surhaussement de la caisse fut pratiqué pour pouvoir parachever le cube nécessaire pour charger 20 t effectives de houille et de briquettes; ces 20 wagons furent affectés au service des dépôts de la traction pour le transport des combustibles entre les houillères et les dépôts. Ils furent particulièrement suivis pendant un temps assez long, des trajets nombreux et des parcours considérables furent effectués dans ces conditions sans qu'aucun inconvénient fut constaté. La conclusion fut qu'en cas d'acquisition de matériel neuf il était parfaitement possible et qu'il serait excessivement avantageux de construire du matériel de 20 t, porté par deux essieux seulement, avec un empattement encore suffisamment réduit pour tourner sur plaques, et en conservant pour ces nouveaux types les formes et dimensions générales de ceux en usage antérieurement.

Le tonnage de 20 t présentait en outre l'avantage, précieux au point de vue de l'application des tarifs et des usages commerciaux, de former un multiple exact de l'unité de tonnage si usuelle de 10 t.

L'activité du trafic qui marqua en France la période qui précéda l'Exposition, nécessita d'importantes constructions de matériel : la Compagnie de l'Est n'hésita pas à commander en 1899, sur le type à 20 t, un lot important de ces wagons-tombereaux dérivés du type H par quelques légères modifications de la caisse assurant un cube de 24,140 m³; elle adoptait en outre ce même tonnage pour les wagons plats.

D'autre part, la Compagnie du Nord, en 1896-1897, avait fait aussi construire un premier lot important de 2 400 wagons-tombereaux à 20 t, à grande capacité de 24 m³ également. Les wagons-tombereaux du Nord et de l'Est diffèrent par quelques détails de construction : le wagon Nord a, sur chaque face latérale, deux portes à vantaux; cette disposition très favorable à la rapidité des déchargements sera imitée sur les prochaines constructions de l'Est; l'empattement de 3 m permet aux wagons de tourner sur plaques de 3,80 m encore assez nombreuses.

La tare de ces wagons est de : Nord 7,600 t, Est 7,770 t; ce qui fait ressortir une valeur réellement très avantageuse pour le rapport de la charge utile au poids total sur rails (plus de 72 0/0).

D'un autre côté le Nord étudia, à la même époque, un nouveau type de wagon couvert de très grande capacité, sur deux essieux, d'un tonnage de 20 t, de 43 m³ de volume de caisse et d'une tare de 9 t; l'effectif en est actuellement d'environ 2 500 unités. Enfin les derniers wagons plats construits par cette Compagnie eurent aussi leur tonnage porté à 20 t; leur nombre actuel est d'environ 1 600.

La Compagnie de l'Ouest a fait aussi construire en 1897-1898 un lot important (1 685) de wagons plats de 20 t et, en 1899, près de 600 wagons couverts de 18 t.

Enfin la Compagnie d'Orléans a fait construire en 1903-04, 500 wagons à houille de 20 t et avait en outre, de 1900 à 1902, transformé à 20 t un nombre sensiblement égal (470) d'anciens wagons de 10 et 12 t. Les Chemins de fer de l'État ont aussi, depuis 1902, 100 wagons-tombereaux de 20 t.

En résumé l'emploi de wagons de 20 t à deux essieux a pris un très grand développement en France depuis six ou sept ans; ce sont naturellement les Compagnies où le trafic des matières pondéreuses est le plus important, c'est-à-dire la Compagnie du Chemin de fer du Nord et celle des Chemins de fer de l'Est, qui ont fait les applications les plus nombreuses du tonnage de 20 t; sur ces deux Compagnies les combustibles minéraux, minerais, produits métallurgiques et matériaux de construction atteignent et dépassent même pour le Nord, les deux tiers du tonnage total.

La Compagnie de l'Est dispose aujourd'hui en matériel de 20 t de :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 675 | wagons plats, | non compris | 250 | en cours de construction. |
| | 2 670 | wagons-tombereaux, | — | 600 | — |
| Soit au total | 3 345 | wagons de 20 t, | — | 850 | — |

La Compagnie du Nord possède de son côté :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2 488 | wagons couverts, | non compris | 56 | en cours de construction. |
| | 1 595 | wagons plats, | — | 310 | — |
| | 7 122 | wagons-tombereaux, | — | 707 | — |
| Soit au total | 11 205 | wagons de 20 t, | — | 1073 | — |

Ces effectifs correspondent déjà, pour les *wagons-tombereaux*, à plus du tiers de la capacité totale offerte, en tonnage, par l'ensemble des véhicules de cette catégorie dans l'une et l'autre des deux Compagnies considérées.

**Répartition actuelle, suivant le tonnage, des principales catégories des wagons de types courants à essieux indépendants des grands réseaux français.**

Le tableau annexé à la présente étude *(Pl. 104)* donne la répartition actuelle, suivant la capacité, de l'ensemble du matériel des réseaux français, en véhicules à deux essieux constituant les principales catégories utilisées pour le trafic général : wagons plats, tombereaux et couverts.

Il résulte de ce tableau qu'aujourd'hui le matériel de tonnage inférieur à 10 t n'entre plus que pour une proportion très faible dans l'ensemble, même en y comprenant près de 27 000 wagons couverts du P.-L.-M., à tonnage de 8 t; cette proportion n'atteint plus que 12 0/0 par rapport aux effectifs, 8 0/0 seulement par rapport au tonnage total. Ces proportions iront vraisemblablement en diminuant de plus en plus, jusqu'à disparition complète des wagons de tonnage inférieur à 8 t; l'effectif de ceux à 8 t tendra à diminuer aussi rapidement en raison de leur ancienneté relative.

Le matériel à 10 t, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, comprend les deux tiers de l'effectif total et presque les six dixièmes du tonnage total. On continue, en particulier dans la série des wagons couverts, et on continuera vraisemblablement longtemps encore à construire de tels wagons avec le tonnage de 10 t; il est d'ailleurs rationnel de le maintenir pour le transport des marchandises de détail, et en particulier pour les wagons à bestiaux, qui constitue une bonne part des effectifs de wagons couverts. Néanmoins nous pensons que la proportion dans laquelle le matériel de 10 t entre actuellement, dans les effectifs totaux ou par rapport à la capacité totale offerte, ira plutôt en diminuant du fait de l'extension donnée aux wagons à tonnages plus élevés.

Les wagons à tonnages de 13 et 15 t constituent près du sixième des effectifs et offrent près du cinquième du tonnage

total. Ce tonnage peut être considéré comme un tonnage de transition, pour ainsi dire, qui a eu son utilité pour amener progressivement au tonnage de 20 t sur deux essieux, et qui se développera, moins peut-être à l'occasion de constructions neuves, que par des transformations de matériel de tonnage inférieur que nous avons vu avoir été pratiquées en si grand nombre et si avantageusement par plusieurs Compagnies.

Le matériel de 20 t sera bientôt représenté si l'on tient compte des constructions en cours ou décidées, par une *vingtaine de mille* de véhicules; déjà aujourd'hui, le tonnage global de ces wagons entre pour le huitième du tonnage total offert par l'ensemble des séries considérées. Si on envisage la rapidité avec laquelle les wagons de 20 t à deux essieux se sont développés, on peut estimer que leur nombre s'accroîtra encore vraisemblablement d'une façon très notable en raison de l'appoint que les constructions neuves sont susceptibles de fournir, notamment dans les catégories des plats et tombereaux pour lesquels ce tonnage de 20 t semble particulièrement avantageux.

Enfin remarquons que le *tonnage moyen* de l'ensemble du matériel utilisé pour le trafic général, c'est-à-dire non compris les wagons affectés aux transports spéciaux, était encore, il y a quelques années, inférieur à 10 t; il atteint maintenant 11,141 t pour l'ensemble, avec les tonnages moyens respectifs de 10,434 t, 11,291 t et 11,742 pour les wagons couverts, plats et tombereaux. La progression a été rapide et relativement considérable.

## Augmentation de la capacité des wagons à essieux indépendants appartenant à des particuliers.

Les industriels qui ont des wagons leur appartenant et circulant sous le régime de tarifs spéciaux, ont aussi compris l'intérêt qu'il y a à élever le tonnage; parmi les dernières séries de wagons particuliers construits dans ces derniers temps, le tonnage de 20 t sur deux essieux a commencé à paraître, et nombreuses relativement sont aussi les transformations du matériel existant à l'effet d'obtenir une capacité de transport plus grande. A la Compagnie de l'Est, où 1 291 wagons particuliers sont immatriculés et admis à circuler sur ce réseau, le tonnage moyen de

ces wagons est aujourd'hui de 13,890 t; il n'était que de 13,088 t en 1898 et 12,525 en 1892 (1).

### Matériel a bogies. Applications récentes de wagons de très grande capacité.

Le matériel à bogies a été employé en France tout d'abord pour les wagons destinés à des chargements de grande longueur, tels que longs fers, rails ou masses indivisibles assez longues. Le Nord possède dans son parc 311 de ces wagons, du type plateforme, d'un tonnage de 25 t et d'une longueur de 15 m construits de 1887 à 1893; la Compagnie de l'Est a construit également en 1887 et en 1893, 77 wagons à bogies de 30 t d'une longueur de 13,600 m plus spécialement destinés au transport des rails soit pour le service de la voie, soit pour l'industrie. Ces wagons présentent l'avantage de se prêter mieux à certains chargements comme les longs fers flexibles, par exemple, que les wagons accouplés par flèches encore usités la plupart du temps pour les transports de longs bois ou d'autres chargements rigides ; mais, au point de vue du rapport du poids mort à la charge utile, les wagons plateformes à bogies de 25 t ou même de 30 t ne présentent guère d'avantage par rapport à deux wagons de 15 t. Aussi l'emploi des wagons plats à bogies de ces tonnages ne s'est-il relativement pas développé et on a généralement continué à construire, en vue des longs chargements, des couplages de wagons plats à deux essieux à traverses pivotantes dont l'écartement peut se régler par des flèches de longueur variable. Les derniers wagons plats de ce genre construits depuis 1901 par la Compagnie de l'Est ont un tonnage de 20 t. Avec ce tonnage l'avantage revient sans aucun doute aux wagons accouplés à deux essieux portant 40 t par couplage, si on les compare à des wagons plateformes à bogies de 30 t. La spécialité de certains chargements aurait donc seule conduit à augmenter le nombre des wagons de ce dernier type, si un nouveau pas n'avait été franchi récemment par la construction de wagons plateformes à bogie de 40 t. La Compagnie du Nord en fait construire en ce moment 170 de ce tonnage et la Compagnie de l'Est 100.

(1) La capacité a augmenté aussi dans de fortes proportions pour les *wagons-réservoirs* dont l'emploi s'est considérablement développé depuis une dizaine d'années sur les réseaux français. Le volume des citernes ou des foudres qui était au maximum de 125 hl en 1892, atteint aujourd'hui couramment 160 et même 170 hl par wagon.

En ce qui concerne les wagons tombereaux, la première application du bogie à ce type de wagon en France a été réalisée sur 100 wagons à houille de 30 t commandés en 1900 par la Compagnie P. L. M. à une usine américaine. Ces wagons sont munis du bogie du type « Diamond », la caisse à longerons emboutis a une capacité totale de 35,863 m³; ils pèsent à vide 15,840 t, le rapport du chargement au poids total sous charge est donc du même ordre que pour les wagons tombereaux de 15 t; mais ce rapport est moins avantageux que pour les wagons de 20 t; aussi les wagons tombereaux à houille de 30 t n'ont-ils guère, croyons-nous, de chance de se développer maintenant que le wagon de 20 t à deux essieux est entré dans la pratique courante de plusieurs Compagnies.

Le progrès réalisé pour le matériel à deux essieux aura eu, comme on le voit, pour effet d'entraîner également en France une progression dans la capacité du matériel à bogies, puisqu'il a conduit à adopter, pour ce genre de matériel, le tonnage de 40 t au moins, limite à partir de laquelle il devient avantageux.

Des premières applications de ce tonnage sur bogies peuvent déjà être citées : la Compagnie du Midi a fait construire, l'an dernier, 10 wagons tombereaux de 28,200 m³ de capacité susceptibles de porter 50 t de minerai; ces wagons ont été étudiés et construits par les Forges de Douai, les bogies et le châssis de caisse sont en tôles d'acier embouties d'après les procédés Fox dont M. Arbel, notre Collègue de la Société des Ingénieurs Civils, et Administrateur-Délégué de ces Établissements, est le concessionnaire en France où il a introduit cette fabrication (1). La tare de ces wagons avec guérite et frein à vis est de 15,400 t, ce qui correspond, même si on ne le charge qu'à 40 t, à un rapport du poids mort au poids total de 28 0/0, soit une proportion de charge utile remorquée de 72 0/0 du poids total.

L'année dernière également, la Compagnie du Nord a commandé, et elle commence à mettre en service, 40 wagons-tombereaux à houille d'un tonnage de 40 t. Ces wagons sont entièrement métalliques, en tôles d'acier embouties; ils proviennent des mêmes constructeurs. Le volume de la caisse est de 51 m³, et la tare est de 14 t à peine, ce qui donne, pour le rapport de

(1) Voir à ce sujet la communication faite par M. Pierre Arbel, au district de Paris de la Société minérale, à la séance du 21 janvier 1904, sur des wagons de grande capacité de 40 et 50 t en tôle d'acier emboutie, système Fox Arbel. Cette communication a été publiée en mai 1904 dans les Comptes rendus mensuels de la Société de l'Industrie minérale.

la charge utile au poids total, la valeur réellement élevée de 74,07 0/0; avec les surcharges de bon poids admises, ce rapport s'élève même à 75 0/0 environ. Ces wagons-tombereaux à bogies donnent une économie de 5 0/0 du poids utile par rapport au wagon de 20 t de la même Compagnie, lequel exige un poids total de 56 t au lieu de 54 t pour porter un poids utile de 40 t, et de 20 0/0 par rapport aux wagons de 10 t qui exigent un poids total de 62 t pour ce même poids utile de 40 t.

## Avantages des wagons-tombereaux de 40 tonnes.

### Cas particulier de leur application au trafic des houilles sur la Compagnie du Nord.

D'après un calcul établi par M. Félix Sartiaux, dans une très intéressante étude parue récemment dans la *Revue générale des Chemins de fer* (1), à propos du nouveau matériel à houille de la Compagnie du Nord, et qui s'applique aux trains de houille que le Nord met en marche de Lens à La Chapelle pour desservir les usines de la Compagnie Parisienne du Gaz, un train composé exclusivement de wagons de 20 t au nombre de 32 pèse brut, y compris les fourgons et les véhicules freinés chargés, 928 t avec 640 t de charge utile. Avec les mêmes machines, le Nord pense pouvoir remorquer 18 wagons de 40 t, ce qui correspond à un poids total brut, y compris les véhicules freinés, de 988 t dont 720 t de charge utile, soit un supplément de charge utile de 80 t, supplément très appréciable au point de vue de la recette. La possibilité de remorquer un supplément de charge utile est aussi un avantage précieux pour les cas où les locomotives sont utilisées dans des limites voisines de leur puissance maximum.

Nous empruntons à la même étude la comparaison suivante relative à la longueur des trains suivant qu'on utilise du matériel à deux essieux à 10 t et à 20 t, ou à bogies de 40 t.

Pour un même poids brut total, le train

| composé exclusivement de | | | occuperait une longueur de | | |
|---|---|---|---|---|---|
| wagons de. . . . . . | | 10 t | voie de . . . . . . | | 440 m |
| — | — | 20 t | — | — | 275 m |
| — | — | 40 t | — | — | 228 m |

(1) Voir Note à propos du nouveau wagon de 40 t de la Compagnie du Nord par M. Félix Sartiaux, ancien élève de l'École Polytechnique, attaché au Service Central de l'Exploitation de la Compagnie du Nord. *(Revue Générale des Chemins de fer.* — Août 1904.)

soit, en faveur du wagon de 40 t, un gain de 47 m par rapport aux wagons de 20 t, et de près de moitié (219 m) par rapport à ceux de 10 t.

Cette première application du matériel à bogies de 40 t sur la Compagnie du Nord sera donc très intéressante, car elle est de nature à mettre en évidence les avantages qu'il y a lieu d'attendre de ce type de matériel pour les courants de transport de matières pondéreuses, permettant de former des trains homogènes parcourant des trajets relativement longs sans rompre charge, conditions que nous avons vu être si fréquemment réalisées en Amérique. Toutes les fois que ces conditions pourront se produire en France, il est vraisemblable que le matériel de très grande capacité pourra donner des avantages comparables à ceux que les Américains ont relevés depuis quelques années et que la Compagnie du Nord espère enregistrer de son côté pour cette première application.

### Avenir des wagons de grande capacité en France :

*a)* Pour les grands réseaux ;

*b)* pour les wagons particuliers.

### Considérations qui peuvent influer sur leur développement :

*a)* D'ordre technique ;

*b)* D'ordre commercial. — Tarifs spéciaux.

Il est vrai de dire que si l'on considère l'ensemble du trafic des Chemins de fer français, le nombre de cas où toutes les conditions que nous venons de rappeler sont réalisées ne sont peut être pas encore très nombreux ; il faut espérer, pour la prospérité générale des réseaux et du pays, que le développement de l'industrie métallurgique et minière les rendront de plus en plus fréquents et qu'ainsi se développera progressivement l'emploi du matériel de très grande capacité. Évidemment dans le début, ce matériel ne pourra être construit par les Chemins de fer qu'avec une prudente circonspection, car l'écueil de ce genre de véhicule serait une utilisation insuffisante de la capacité offerte. Il ne suffit pas que la capacité offerte du wagon soit très grande ; ce qui importe bien plus, c'est que le tonnage effectif soit le plus grand possible eu égard à une capacité déterminée. Or, le tra-

fic des matières pondéreuses n'a pas une importance relative uniforme sur l'ensemble des Chemins français ; le trafic de détail n'impose nullement la grande capacité ; pour les wagons couverts en particulier, affectés plus généralement au trafic de détail, cette grande capacité, surtout en tant que tonnage, serait souvent superflue et par conséquent à éviter. On verra donc vraisemblablement encore longtemps, et avec raison, le parc du matériel des réseaux français consister pour une grande partie, en wagons à deux essieux dont beaucoup n'auront même que 10 t ; mais nous croyons à une évolution progressive continue dans le sens de l'augmentation de capacité, parce qu'on profitera de la disparition des anciennes unités de transport pour les remplacer par des unités plus puissantes, qui seront naturellement affectées plus spécialement et autant que possible aux genres de transports qui se prêtent le mieux à leur utilisation la plus avantageuse.

La non-spécialisation du matériel, en trafic général, est de nature à mettre en quelque sorte un frein au rapide développement de la grande capacité pour les wagons de types courants, qui constituent et continueront vraisemblablement à constituer en France, la plus grande partie du parc du matériel des Administrations de chemins de fer ; mais il n'en est plus de même, si l'on considère le matériel que certaines Sociétés métallurgiques ou minières, peuvent avoir à faire construire en vue de l'utiliser, sous le régime de tarifs applicables aux wagons particuliers. Dans ces cas, en effet, ce sont des questions d'espèce à considérer ; les éléments intéressant l'utilisation des wagons sont bien mieux déterminés, par exemple la nature des produits à transporter, le tonnage journalier qu'ils fournissent, les distances à franchir, le profil des lignes à parcourir, les conditions d'établissement des raccordements et des installations diverses de chargement et de déchargement. Il est donc beaucoup plus facile d'étudier une solution qui satisfasse aux diverses données du problème à résoudre, non seulement au point de vue technique, en ce qui touche la capacité et le mode de construction, avec ou sans dispositif de déchargement automatique, mais au point de vue du prix de revient des transports résultant de l'application des tarifs.

Au point de vue technique, les industriels propriétaires de wagons ont déjà, comme nous l'avons vu à propos des wagons à deux essieux, apprécié les avantages de l'augmentation de la capa-

cité puisqu'un accroissement de tonnage n'a cessé de se produire dans ces dernières années, dans le matériel considéré, en vue d'augmenter la proportion de la charge utile, sans dépasser pour la tare du véhicule les limites de poids non taxés. Le matériel à bogies est de nature à leur procurer, aussi bien et parfois mieux encore que les wagons de types courants des Compagnies, les avantages que nous avons déjà cités pour ces derniers, par comparaison avec le matériel à deux essieux de fort tonnage, à savoir notamment : réduction possible nouvelle du poids mort rapporté à la charge utile, encombrement moindre sur les voies.

En outre, de nouveaux avantages non moins importants au point de vue de la bonne utilisation et de la rotation du matériel, pourront être réalisés du fait de l'adoption de dispositifs de déchargement automatique qu'on peut appliquer quand il s'agit de matières bien définies, à décharger en des points et avec des engins bien déterminés.

Les avantages du déchargement automatique sont évidemment réalisables avec du matériel de moyenne capacité, mais ils nous semblent devoir être encore plus marqués, au point de vue de la rapidité et du temps gagné, par la manutention de matériaux en grande masse. C'est évidemment en vue de se rendre compte des limites dans lesquelles ces avantages peuvent être obtenus que des wagons de fort tonnage à trémies, du modèle américain, ont été dans ces derniers temps, commandés par diverses usines pour le transport des minerais en particulier. Les mines de Carmaux, les premières, ont commandé, à titre d'essai, un wagon de ce genre, avec trémie à déchargement automatique par trappes de fond, d'un volume de caisse de 57 $m^3$, permettant de charger 50 t de houille. D'autres wagons similaires pour minerai sont en cours de construction pour d'autres établissements métallurgiques de la région de l'Est.

Mais les considérations qui seront de nature à peser sur le développement des .wagons particuliers à grande capacité seront encore, croyons-nous, bien plutôt d'ordre commercial que technique.

De même que pour encourager l'utilisation des wagons de 20 t leur appartenant, certaines Compagnies ont accordé des réductions pour les expéditions faites par chargements complets dans ces wagons, de même le développement des wagons particuliers de 40 t sera susceptible de se produire grâce à certaines conditions avantageuses des tarifs spéciaux. C'est ainsi que la Compa-

gnie du Nord, dans son tarif spécial P. V. n° 7, livret 3 *bis*, applicable aux houilles chargées dans des wagons de 40 t fournis par les destinataires ou expéditionnaires de la région de Rouen, a introduit des conditions avantageuses par rapport au transport dans des wagons ordinaires de 10 t ou 20 t. La réduction consentie s'accroît avec l'importance de l'expédition, et aussi dans le cas où le poids mort du véhicule ne dépasse pas une certaine proportion (35 0/0) de la charge utile. C'est une prime à la légèreté, d'ailleurs très logique et favorable aux intérêts des transporteurs et des expéditionnaires ou destinataires ; toutefois, les constructeurs devront, selon nous, en user dans une limite raisonnable, car il ne serait pas rationnel, même en observant toutes les conditions désirables concernant la sécurité, de perdre en frais d'entretien ou en dépenses résultant d'incidents de service, une partie des avantages réalisés sur les prix de transports.

D'autres tarifs Nord, Est et communs Nord-Est, établis d'après des bases analogues, sont en ce moment en préparation.

## CONCLUSIONS

Telle est la situation actuelle au point de vue de la capacité des wagons à marchandises dans les pays que nous avons considérés.

Les faits ont corroboré les conclusions formulées sur cette question au dernier Congrès des chemins de fer, et dont nous avons rappelé les termes en commençant cet exposé ; partout on a constaté que l'évolution qui se manifestait déjà d'une manière sensible dans les quelques années qui précédaient ce Congrès, s'est poursuivie depuis lors d'une façon plus accentuée encore.

Les Chemins américains qui ont les premiers employé des wagons de très grande capacité sont devenus dans ces derniers temps encore plus hardis.

En Angleterre, où l'esprit conservateur du pays et les usages, commerciaux avaient maintenu l'emploi de matériel de petite capacité, on commence à mettre en doute la nécessité de s'en tenir aux anciens types ; des essais, chaque jour de plus en plus nombreux, sont entrepris, portant sur des véhicules à bogies de fort tonnage, ou des wagons de 20 t à deux essieux.

En Allemagne où des « normes » régissent les conditions d'établissement du matériel aussi bien que de la voie, le wagon nor-

mal de 15 t est excessivement répandu; mais, comme en Angleterre, on attache un très grand intérêt à des applications nouvelles de matériel à bogies ou à 20 t. La question du déchargement automatique semble y être particulièrement suivie.

Dans cet exposé à la fois historique et géographique déjà fort long, nous n'avons pu parler des Chemins des autres nations européennes. Signalons cependant qu'en Belgique, où les conditions du trafic se rapprochent des deux réseaux septentrionaux du nord de la France, il y a maintenant un nombre relativement grand de wagons de 15 t et même de 20 t construits dans ces derniers temps.

Enfin, en France, nous avons vu que l'effectif des wagons de 20 t sur deux essieux, atteint déjà, à peu près le nombre respectable de 20 000 unités, nombre qui sera vraisemblablement vite dépassé du fait des prochaines constructions de matériel neuf; nous avons remarqué aussi que le parc du matériel destiné au trafic général des réseaux français comprendra également dans un délai prochain des lots assez importants de véhicules à bogies à très grande capacité.

Il nous a paru qu'il n'était pas sans intérêt de faire ressortir quels progrès considérables, selon nous, ont été, dans un espace de temps relativement court, réalisés dans l'outillage de transport de petite vitesse sur les réseaux de notre pays.

Si l'on tient compte des conditions économiques actuelles, il nous paraît que pour cette branche de l'industrie des chemins de fer, la France tient un rang très honorable dans l'ensemble des Chemins européens. Ces résultats sont dus aux efforts collectifs incessants de tous ceux qui ont la charge de diriger les services techniques et commerciaux des chemins de fer.

En qualité de membre de la Société des Ingénieurs civils de France, il a été personnellement agréable à l'auteur de signaler ces résultats, et de saisir ainsi l'occasion de rendre un modeste et respectueux hommage à trois des anciens présidents de la Société, Messieurs Du Bousquet, Baudry et Salomon qui ont, sur les réseaux dont ils dirigent les services du matériel et de la traction, contribué pour une si large part à la réalisation de cette évolution éminemment profitable aux intérêts généraux du commerce et de l'industrie, ainsi qu'à ceux des réseaux exploitants.

---

# NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

# HUBERT DESGRANGE

ANCIEN VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ

PAR

**M. Ernest PONTZEN**

PRÉSIDENT DE LA DEUXIÈME SECTION

---

L'éminent Ingénieur Hubert Desgrange, qui vient de s'éteindre à l'âge de quatre-vingt-huit ans, était depuis 1858 membre de notre Société, qui l'a appelé quinze fois à siéger dans son Comité, et trois fois à remplir les fonctions de Vice-Président.

Depuis 1889, Desgrange ne prit plus une part active à nos travaux, et ne vint que rarement à nos réunions. Il avait fait le sacrifice de ces bonnes soirées, du vendredi, et en général de toutes les sorties du soir, pour pouvoir, sans se surmener, continuer à vaquer du matin au soir, et sans réserve, à ses multiples occupations professionnelles.

Sa haute compétence comme Ingénieur et comme administrateur, jointe à la confiance absolue qu'inspirait son jugement indépendant et sa droiture, avaient fait de Desgrange un homme très recherché, et une fois qu'il avait accepté une fonction, il la remplissait scrupuleusement, sans ménager ses forces et son temps.

Le travail avait du reste toujours été le bonheur de cet homme de devoir. Sur ses vieux jours, il y vit le moyen pour se défendre contre l'influence des années, et lorsqu'en ces derniers temps des deuils cruels le frappèrent, c'est encore par le travail qu'il s'efforça, sans porter atteinte à ses pieux souvenirs, de donner quelque diversion à ses tristesses.

Tel était ce vaillant vieillard, avec lequel disparait un des derniers de nos Collègues dont l'entrée dans la carrière se confond avec l'inauguration de l'ère des chemins de fer.

Sorti en 1837, à l'âge de vingt ans, de l'École des Arts et

Métiers d'Angers, Desgrange débuta dans des ateliers de construction, et ne tarda pas à se faire remarquer parmi les jeunes Ingénieurs s'occupant du matériel des chemins de fer. De 1844 à 1847, il était, sous les auspices de Buddicum, d'abord chef du matériel de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Rouen, puis préposé au service de la traction de la ligne d'Amiens à Boulogne. De cette position, il passa Directeur des Ateliers de Construction Buddicum et Cie, à Bordeaux et à Rouen, et y resta jusqu'en 1859, moment où, par suite de la large part prise par les capitaux français au développement des chemins de fer à l'étranger, on chercha à recruter des Ingénieurs français ayant fait leurs preuves, auxquels on put confier la sauvegarde de nos intérêts.

De Lapeyrière, nommé Directeur général de l'importante Compagnie des Chemins de fer du Sud de l'Autriche, avait eu, sur les Chemins de fer de l'Ouest, occasion d'apprécier les qualités d'administrateur et de constructeur de Desgrange; il le proposa à Paulin Talabot, l'organisateur suprême de cette administration française en pleine Autriche.

Il est permis de considérer le poste d'Ingénieur en chef de la Traction et des Ateliers, qui fut confié à Desgrange, comme l'un des plus difficiles et des plus intéressants de cette époque. Le réseau des Chemins de fer du Sud de l'Autriche comprenait, en effet, la fameuse traversée du Semmering, avec ses rampes de 25 mm par mètre, et ses courbes de 180 m de rayon, dont la mise en exploitation avait donné lieu à des études et concours restés célèbres. Ce qui rendait le service de la Traction encore plus difficile, c'est que cette section à fortes déclivités et à courbes si prononcées est située à proximité de Vienne, sur la ligne principale du réseau.

Sans vouloir amoindrir l'importance des services rendus depuis son retour en France, on peut dire que les années de 1859 à 1868, que Desgrange passa en Autriche, sont celles dans le courant desquelles il obtint les succès les plus brillants, et qui auraient suffi pour lui assurer le rang et la haute considération dont il jouissait.

Tout en respectant, dans la mesure nécessaire, les susceptibilités des Ingénieurs autrichiens, il s'attacha, dès son arrivée, à transformer l'organisation des services placés sous ses ordres, et il sut si bien tirer parti des éléments composant son personnel, que, sans le révolutionner, et rien qu'en imprimant ses méthodes

à la gestion des divers services, il obtint les résultats les plus brillants.

Le service de la Traction a cela de particulier que, mieux que pour toute autre branche du service des chemins de fer, il est possible d'exprimer en chiffres les résultats des perfectionnements réalisés. Qu'il nous soit, pour ce motif, pardonné d'en introduire dans ces lignes, écrites pour honorer la mémoire d'un Ingénieur. Nous les empruntons à un mémoire dû à la plume du successeur de Desgrange, dans ses fonctions à la Compagnie des Chemins de fer du Sud de l'Autriche; nous avons nommé notre regretté ami Gottschalk, qui fut, en 1880, Président de notre Société.

En 1860, les frais de traction et de réparation de matériel par train-kilomètres s'élevaient à 1,99 f; en 1867, c'est-à-dire lorsque Desgrange remit son service à Gottschalk, ils n'atteignaient plus que 0,972 f.

Ceux qui ne savaient pas combien l'activité professionnelle était pour Desgrange un besoin, pouvaient croire qu'il rentrait en France pour s'accorder, après les années de dur labeur, un peu de repos. Il eut peut-être lui-même cette pensée, mais il n'en était rien.

Dès son retour à Paris, il apprit que sa bonne foi et sa confiance avaient été surprises par un soi-disant ami, et que la majeure partie de ses économies avait disparu.

Les amis de Desgrange en furent peut-être plus émus que lui-même. Il en prit vite son parti, et rentra dans la vie active.

Qu'il nous soit permis, à l'occasion de cet incident, de soulever le voile de discrétion qui nous serait imposé si les deux hommes de cœur, qui dans cette pénible circonstance se montrèrent dignes l'un de l'autre, n'avaient pas disparu tous deux.

Gottschalk venait à peine de prendre possession du poste quitté par Desgrange lorsque la nouvelle des revers de fortune de celui-ci lui arrivèrent. Il n'hésita pas un instant, et insista auprès de Desgrange pour que celui-ci vint reprendre ses fonctions lucratives à Vienne. Il n'y réussit pas, mais cette preuve de désintéressement et d'amitié a été bienfaisante et réconfortante pour le trop confiant Desgrange, qui eut pu se laisser aller à douter des liens d'amitié.

Sollicité de tous côtés, Desgrange ne tarda pas à reprendre, comme Conseil et comme administrateur, l'existence remplie qui lui convenait. Fort apprécié comme Ingénieur-Conseil, beau-

coup d'entreprises ont cherché à le faire entrer dans leurs Conseils d'administration, et une fois entré, il ne tardait pas à être appelé à la présidence.

Ses conseils ont rendu les plus grands services à de nombreuses entreprises de tramways et de chemins de fer. Sans jamais avoir été dans les pays lointains, il les connaissait par l'étude, et il parlait avec la même compétence des Chemins de fer du Brésil et du Vénézuéla que de ceux d'Italie ou d'Autriche, qu'il savait par le menu.

La Société de travaux de Dyle et Bacalan, dont il fut pendant de longues années le Président du Conseil d'administration, le vit avec regret se retirer, il y a quelques années.

La Compagnie des Chemins de fer de Bône à Guelma et prolongements réussit, lorsque en 1903 Desgrange insista pour se démettre, à cause de son grand âge, des fonctions de Président du Conseil d'administration, à lui faire reprendre, avec le titre de Président honoraire, les fonctions d'Administrateur-délégué à l'Exploitation. Avec cette ponctualité que Desgrange avait durant toute sa vie, mise à l'accomplissement de son devoir, il vint, jusque peu de jours avant sa fin, quotidiennement à son bureau examiner les questions du jour, et conférer avec ses Collègues, et en particulier avec M. de Traz, qui lui a succédé dans la présidence de cette Compagnie, après avoir été depuis de longues années son collaborateur.

C'est à M. de Traz qu'était échu l'honneur d'adresser sur la tombe le dernier adieu à son ami Desgrange. Dans ce discours, il a si bien retracé l'image de Desgrange, et rappelé sa belle carrière, que nous aurions pu le reproduire ici sans rien y ajouter.

Je suis heureux, de mon côté, que mes fonctions de Président de la Section de l'Industrie des Transports me procurent l'honneur de rappeler à mes Collègues la vie si remplie de l'éminent Ingénieur, avec qui le hasard de nos carrières m'a mis en rapport depuis plus de quarante ans, et qui m'honora de son amitié.

Tous ceux qui ont connu Desgrange garderont le souvenir de cet homme bienveillant, serviable et modeste. On eut dit qu'il était seul à ne pas connaître sa haute valeur.

Les signes extérieurs de la considération lui ont été attribués par divers Gouvernements : il était Chevalier de l'ordre de François-Joseph, Commandeur de l'ordre de Saint-Grégoire et de

l'ordre du Nicham Iftikar; mais la croix de Chevalier de la Légion d'Honneur était, de toutes les décorations, celle dont il était le plus fier. Il y a quarante ans qu'il l'avait obtenue, et il se demandait si les services rendus et la considération dont il jouissait lui procureraient encore la satisfaction d'une promotion dans cette légion, à laquelle il fit honneur.

Le nom Hubert Desgrange restera inscrit dans le livre d'or de notre Société des Ingénieurs Civils de France; il était un des nôtres, et des meilleurs. Sa mémoire vivra dans notre souvenir.

---

# CHRONIQUE

## N° 301

---

Sommaire. — Houille blanche et houille noire. — L'utilisation des chutes du Niagara. — Le matériel des chemins de fer aux États-Unis. — Procédé direct de fabrication de l'acier. — L'action des explosifs. — Procédé de reproduction des dessins.

**Houille blanche et houille noire.** — Une tendance très manifeste, à notre époque, est celle qui porte les promoteurs et partisans de certains progrès dont le mérite intrinsèque est d'ailleurs incontestable, à en escompter la valeur jusqu'aux dernières limites et, au lieu de les considérer comme des améliorations ayant leurs applications déterminées, et constituant des étapes dans la voie du progrès, à les présenter comme des solutions radicales destinées à faire table rase de tout ce qui existait avant dans le domaine considéré. Nous sommes les premiers à reconnaitre que cette manière de voir peut se justifier dans une certaine mesure par l'exemple de quelques inventions retentissantes qui, au dernier siècle, ont profondément modifié certaines industries et en ont fait surgir d'autres. Mais ce sont des cas qui ne se présentent pas tous les jours. Dans ceux que nous avons en vue, la masse du public, renseigné uniquement par la presse dont l'enthousiasme dépasse généralement la compétence, se trouve amené à ne plus rêver que de transformations radicales et de révolutions dans les méthodes existantes. Il n'est pas jusqu'à des esprits éclairés qui ne se laissent aller à suivre l'entrainement général.

Nous avons eu plusieurs fois, ici même, l'occasion de citer des exemples de cette tendance. L'emploi de la surchauffe dans les locomotives a été présenté comme devant remplacer, pour ces machines, des améliorations éprouvées qui offrent, d'ailleurs, des avantages auxquels la surchauffe n'a rien à voir. La turbine à vapeur doit se substituer à la vieille machine alternative pour toutes ses applications sur terre et sur mer. La traction électrique est le mode unique de traction de l'avenir. Certains voient déjà l'automobile tuer le chemin de fer. La houille blanche, ce nom donné récemment à la plus antique source de force motrice que l'homme ait utilisée, doit tôt ou tard supplanter la houille dans toutes les applications relatives à la production du travail et même à la métallurgie. Nous arrêtons ici cette énumération.

Sans prétendre préjuger de l'avenir, nous croyons que chaque chose a sa place sous le soleil et que les grands progrès qui ont illustré le siècle dernier ne sont pas destinés à disparaitre radicalement. Bien plus, les progrès récents, dont nous sommes loin de contester la valeur, auraient grand tort, à notre avis, de se montrer trop exclusifs et de faire fi des vieilles méthodes sanctionnées par une longue pratique et susceptibles, dans certains cas, de leur donner un appui qui n'est pas à dédaigner.

En voici quelques exemples tirés de faits qui présentent, d'ailleurs, par eux-mêmes un grand intérêt.

On a pu lire récemment, dans les journaux, la note suivante : « La Société Grenobloise de Force et Lumière a décidé d'établir un transport de force entre Moutiers (Tarentaise) et Lyon, destiné à actionner les tramways électriques de cette dernière ville dont les dynamos sont actuellement commandées par des machines à vapeur. La Compagnie de l'Industrie Électrique et Mécanique de Genève vient d'être chargée, par la Société Grenobloise, de la fourniture de l'équipement électrique complet de l'usine génératrice de Moutiers qui comprendra quatre paires de dynamos doubles avec accessoires et aussi de l'équipement de l'usine réceptrice qui sera située à Lyon même et comprendra cinq groupes de moteurs doubles avec tous leurs accessoires.

» Il s'agit de transmettre une force hydraulique de 6 300 ch à la distance de 180 km, laquelle n'a jamais encore été atteinte, du moins en Europe, dont ce sera par conséquent le plus long transport de force. Pour résoudre ce problème, la préférence a été donnée au système à courant continu à très haut voltage, dit système série qui a déjà trouvé de nombreuses applications, en dernier lieu pour le transport de force de Saint-Maurice (Valais) à Lausanne (58 km) où il a donné les meilleurs résultats. Son principal avantage réside dans l'énorme économie qu'il permet de réaliser dans l'établissement de la ligne qui se trouve réduite à sa plus simple expression; ce système est donc apte à franchir des distances encore beaucoup plus grandes pour lesquelles tout autre système serait trop onéreux, sans parler des difficultés techniques qui deviendraient presque insurmontables.

» Entre Saint-Maurice et Lausanne, le voltage maximum atteint 22 000 volts, tandis qu'entre Moutiers et Lyon il ira jusqu'à 56 960 volts lorsque les usines travailleront à pleine charge. Cette tension sera également la plus élevée qui ait été atteinte jusqu'à présent en Europe et permettra de transporter ces 6 300 ch à la distance de 180 km au moyen de deux simples fils de cuivre de chacun 9 mm de diamètre.

» A l'entrée à Lyon, qui se fera par deux câbles souterrains très fortement isolés, la tension sera encore de 50 000 volts. »

Le journal suisse où nous avons trouvé ce renseignement pour la première fois ajoute : « Et voilà comment, une fois de plus, la houille noire devra céder le pas à la houille blanche. »

Puisque, dans l'article précédent figure la mention du transport de force Saint-Maurice-Lausanne, dont nous avons parlé dans la Chronique de septembre 1902, page 420, nous croyons pouvoir nous permettre d'ajouter les observations suivantes, relatives à ce transport de force et qui nous paraissent ne pas manquer d'intérêt.

Dans l'usine de Pierre-de-Plan, située à Lausanne et qui contient la réceptrice du courant produit à Saint-Maurice, on a eu la bonne précaution d'installer, comme réserve, trois chaudières à vapeur de 275 m² de surface de chauffe chacune et trois machines Sulzer de 400 ch chacune. Cette usine possède une cheminée de 55 m de hauteur qui se voit de très loin, par exemple d'Évian situé de l'autre côté du lac Léman, à 15 km de distance. Or l'été dernier, les baigneurs qui fréquentaient cette

ville ont pu voir, pendant des périodes prolongées, un panache de fumée sortir de la cheminée de Pierre-de-Plan indiquant que la houille blanche était en grève au moins partielle et que les tramways de Lausanne fonctionnaient à la houille noire. En effet, à cette époque, les dynamos de l'usine de Saint-Maurice avaient éprouvé de graves avaries qui avaient réduit dans une grande mesure la puissance de l'usine.

Voici un autre exemple non moins significatif de l'appui précieux que la houille est susceptible de donner à sa concurrente.

On apprendra avec quelque surprise que la ville de Genève s'occupe de construire une usine à vapeur devant servir de réserve à l'usine hydro-électrique de Chèvres (1). Il semble, en effet, qu'une usine alimentée par un réservoir comme le lac de Genève, doit être assurée d'avoir en tout temps de la force motrice en quantité suffisante. Ce n'est cependant pas le cas.

Une intéressante communication de M. Elmer, faite à la Classe de l'Industrie et du Commerce de la Société des Arts de Genève, le 21 novembre 1904, en expose les raisons (1). L'examen de la courbe indiquant la force motrice disponible chaque jour dans le courant de l'année 1901-1902 montre que, si l'usine dispose à certains moments d'une puissance de 8000 à 9000 ch, il y a, par contre, d'autres moments où cette puissance dépasse à peine 1200 ch. Cette énorme variation de puissance dépend de plusieurs causes. Il faut d'abord remarquer que l'eau qui produit la force motrice à Chèvres provient de la réunion de deux rivières d'origine différente, le Rhône et l'Arve. Or le débit de ces deux cours d'eau est extrêmement variable. Celui du Rhône peut varier de 1 à 10 et celui de l'Arve de 1 à 50. Le débit du Rhône dépend du niveau du lac de Genève. Une convention signée avec les gouvernements des régions riveraines du lac par la Ville de Genève, oblige cette dernière à ouvrir les barrages réglant le débit du Rhône à sa sortie du lac d'une quantité telle que le niveau de ce dernier ne dépasse pas certaines cotes fixées d'avance. Il en résulte que le Rhône débite beaucoup d'eau lorsque le niveau du lac est élevé et qu'il en débite au contraire très peu lorsque le niveau du lac est très bas.

Le débit de l'Arve dépend des conditions météorologiques du massif du Mont-Blanc et ce débit, variant beaucoup et très brusquement, complique encore le régime hydraulique auquel est soumise l'usine de Chèvres. Par suite de la disposition de celle-ci, il résulte qu'à partir d'un certain débit du fleuve, plus la quantité d'eau est grande, moins l'usine peut fournir de force motrice par suite de la diminution de chute. Ce cas se produit en particulier lors des crues subites de l'Arve.

L'extrême variabilité de la puissance disponible à Chèvres a donc obligé la Ville de Genève à chercher un moyen pour remédier à ces manques de force momentanés et de durée plus ou moins longue. S'il était impossible de compenser ces insuffisances, la Ville ne pourrait prendre l'engagement de fournir de l'énergie électrique d'une façon régulière que jusqu'à concurrence de la puissance minima que l'usine

(1) Cette usine est sur le Rhône à environ 6 km de Genève, au-dessous par conséquent de la jonction de l'Arve et du Rhône.

(1) Voir le *Moniteur de l'industrie et de la construction*, du 15 décembre 1904, page 326

peut produire. On n'utiliserait par conséquent qu'une faible partie de la puissance réelle de Chèvres. Au contraire, si on peut par un moyen, même coûteux, fournir pendant les périodes d'insuffisance l'appoint qui manque au régime ordinaire de l'usine, on pourrait utiliser, d'une manière régulière, une partie beaucoup plus forte de l'énergie totale que l'usine peut fournir. Une usine de secours s'impose donc.

L'installation d'une deuxième usine hydro-électrique utilisant la pente du Rhône plus bas que Chèvres conduisait à dépenser immédiatement un nombre respectable de millions pour sa construction et une somme considérable chaque année pour son exploitation. En outre, cette usine, étant soumise au même régime hydraulique que Chèvres, aurait des périodes d'insuffisance en même temps que la première usine et ne lui serait par conséquent que d'un faible secours.

Pour cette raison, la Ville de Genève a décidé la construction d'une usine de réserve à vapeur. Cette usine dépensera, il est vrai, du charbon lorsqu'elle marchera, mais elle coûtera beaucoup moins cher comme construction qu'une usine hydraulique et ne demandera aucune dépense d'exploitation supplémentaire.

Cette nouvelle usine contiendra les machines de la station établie actuellement dans le bâtiment des pompes à Genève (moteurs alternatifs et génératrices de courant continu) et comprendra en outre cinq turbines à vapeur de 500 ch accouplées à des génératrices à courant continu et cinq turbines de 1 000 ch accouplées à des alternateurs, de sorte que la puissance totale des moteurs à vapeur de l'usine sera d'environ 8 000 ch. On en installera à peu près la moitié tout d'abord et cette réserve restreinte suffira actuellement, en cas d'arrêt de l'usine de Chèvres, pour assurer le service des tramways ainsi que l'éclairage public et la force motrice en ville. Le complément sera établi au fur et à mesure des besoins.

Avec le développement de l'utilisation de l'énergie électrique, les insuffisances de Chèvres seront de plus en plus fréquentes et l'usine à vapeur marchera de plus en plus souvent. Il arrivera une époque où la dépense de charbon sera telle qu'elle équivaudra à l'intérêt, à l'amortissement et aux frais d'exploitation d'une usine hydraulique. A ce moment, il y aura lieu de construire l'usine prévue à La Plaine et l'usine à vapeur continuera son service de secours.

On pourrait, à ces deux exemples, en ajouter d'autres, tous récents; on sait, en effet, que les froids subits du commencement de janvier 1905 ont eu pour conséquences des perturbations considérables dans le service de grandes installations hydro-électriques.

L'addition de machines à vapeur de secours à des moteurs hydrauliques est loin d'être nouvelle, mais il semble qu'elle a toujours sa raison d'être, depuis après qu'on a créé le mot de houille blanche. Le moteur à vapeur est toujours disponible, et prêt à venir en aide en cas de détresse, et nous ne saurions mieux conclure qu'en demandant la permission de répéter ce que nous disions en 1897, dans une conférence sur les machines à vapeur : « Si nous n'avions jamais eu d'autre source de travail, pour alimenter nos usines et nos ateliers, que les installations hydro-électriques, coûteuses et délicates, avec quelle admiration

et quelle reconnaissance verrions-nous mettre à notre disposition la force motrice solidifiée, sous la forme d'une pierre noire transportable à découvert, sans peine, sans danger, en quantité quelconque, à toute distance, nous fournissant à volonté, n'importe où et dans les conditions les plus parfaites de sécurité et d'indépendance, le travail nécessaire à nos besoins industriels ou domestiques. Ce n'est autre chose que la houille, qui représente le travail accumulé dans le passé par la chaleur du soleil, de même que la force hydraulique représente le travail emmagasiné journellement par l'astre qui nous éclaire. »

**L'utilisation des chutes du Niagara.** — Une communication de M. H. W. Buck, publiée dans le *Journal of the Association of Engineering Societies*, contient d'intéressants détails sur l'utilisation des chutes du Niagara.

L'auteur exprime l'opinion que, malgré les remarquables progrès faits pour la transmission à grande distance, la plus grande partie de la force développée par les chutes du Niagara est appelée à être utilisée dans un rayon de quelques kilomètres autour du centre de production. En effet, dit-il, les fabriques, et surtout celles de l'industrie électrochimique, ont besoin de force à bon marché, et plus elles s'établiront près des chutes, moins elles paieront la force.

Il ne faut pas se dissimuler que la transmission du courant électrique à grande distance est coûteuse. Considérons, par exemple, la transmission entre le Niagara et Buffalo. Le courant, à la sortie des dynamos génératrices, est transformé à la tension de 22 000 volts par des transformateurs immergés qui, non seulement absorbent une partie de l'énergie, mais exigent une dépense non négligeable pour leur fonctionnement, leur entretien, et l'intérêt du prix de construction. En en sortant, le courant suit une ligne qui subit des droits de parcours et donne lieu à des dépenses d'intérêts et d'entretien, sans compter la perte d'énergie qu'elle entraîne. Arrivé à Buffalo, le courant est de nouveau transformé pour sa distribution dans la ville. Cette distribution s'effectue par un réseau très développé de conducteurs souterrains. Cette installation donne lieu à des dépenses d'intérêt et d'entretien, et exige un personnel important pour sa surveillance.

On a constaté que la perte par la transmission, entre Niagara et Buffalo, ne dépasse pas 10 0/0, mais il ne faut pas en conclure que le travail transmis ne coûte à cette dernière localité que 10 0/0 de plus qu'au lieu de production; la différence est considérablement plus grande.

Toutefois, même dans ces conditions, l'énergie fournie par les chutes du Niagara est amenée à Buffalo et livrée aux consommateurs à un prix moindre que celui auquel ils l'obtiendraient d'installations particulières. Mais l'économie n'est pas le seul avantage. La suppression des machines et des chaudières dans les fabriques touche à diverses questions qui créent des conditions commerciales des plus favorables.

Lorsque l'entreprise du Niagara débuta, on prévoyait déjà le fonctionnement des usines de New-York par l'énergie développée par les chutes. Dans l'état actuel de l'industrie électrique, cette possibilité n'est guère que théorique, car le travail, transmis à une pareille distance par

nos moyens actuels, ne pourrait lutter comme prix avec le travail fourni par la vapeur. En théorie, on peut envoyer l'énergie du Niagara à San Francisco, mais le prix serait prohibitif.

Un autre argument contre la transmission de cette force à grande distance est qu'elle n'est nullement nécessaire au point de vue commercial. Il y a suffisamment emploi de la force dans un rayon de 80 km autour de l'usine centrale de production pour absorber toute la puissance développée jusqu'ici, et cette situation parait devoir se prolonger encore longtemps. Les industries ont intérêt à se grouper près des chutes pour avoir la force à bon marché, autrement dit, il est préférable d'aller à la force que de la faire venir.

Il y a toutefois une exception à cette manière de considérer les choses, exception qui se trouve dans le cas des tramways. On peut admettre que le rayon où la force peut être utilement transmise pour cette application peut atteindre 160 à 200 km. Les conditions sont particulièrement favorables à la transmission à grande distance; en effet, ces entreprises emploient l'énergie sur une grande échelle et, pouvant poser les conducteurs sur leur propre domaine, n'ont pas de droit de passage à payer. D'ailleurs l'électricité peut lutter plus facilement avec la vapeur utilisée dans les locomotives qu'avec les machines fixes.

Actuellement, l'énergie distribuée par la Niagara Falls Power Company peut se diviser en trois catégories :

1° Le service local, comprenant les industries électro-chimiques et autres, comprises dans les limites de la ville de Niagara Falls. Cette partie représente pour le moment un total d'environ 45 000 ch, répartis entre trente fabriques, ce qui fait une moyenne de 1 500 ch pour chacune. Les plus gros consommateurs sont les usines électro-chimiques, qui emploient le courant, soit à l'électrolyse, soit à la production de hautes températures, par le four électrique, dans lequel s'opèrent les réactions qui leur sont nécessaires ;

2° Le service canadien, auquel le courant arrive par les conducteurs qui suivent le pont métallique en arc, et qui comprend diverses industries et chemins de fer électriques au Canada jusqu'à Sainte-Catherine. La consommation de courant est faible actuellement, on ne peut guère l'estimer qu'à 2 000 ch, mais on peut la considérer comme le début d'un important développement industriel de la rive canadienne du fleuve, développement qui ne peut manquer de se produire d'ici à quelques années ;

3° Le service à longue distance, vers Buffalo, Tonawanda, Lockport et Olcott, qui s'élève actuellement à un total de 30 000 ch. A Buffalo, on emploie environ 24 000 ch, répartis entre un nombre considérable de consommateurs, qui emploient l'énergie électrique pour toutes sortes d'usages. Dans ce chiffre est comprise la partie qui correspond à la traction sur les tramways de Buffalo, et à l'éclairage de la ville.

A Tonawanda, on emploie 4 000 ch pour les tramways, l'éclairage et diverses applications comme force motrice. A Lockport, la consommation s'élève à environ 16 000 ch, employés pour les tramways et divers autres usages. A Olcott, 500 ch servent au fonctionnement d'une des sous-stations de l'International Railway Company. Cette sous-station

est située à 63 km des chutes; c'est actuellement la plus grande distance à laquelle l'énergie du Niagara est transmise. Tout le service des marchandises de l'International Railway, entre Olcott et Tonawanda, se fait par des locomotives électriques recevant le courant du Niagara.

Ces quelques détails suffiront pour donner une idée de l'état actuel des applications de l'énergie des chutes. On doit le considérer comme un début. En Amérique on a vu, dans certains endroits, de grandes villes sortir pour ainsi dire du sol pour des raisons bien moins importantes que les conditions que crée le voisinage du Niagara. La contrée dont il s'agit est un point de rencontre de lignes de chemins de fer de premier ordre, un centre considérable de population et un champ illimité pour l'établissement économique d'industries diverses; c'est, de plus, le terminus oriental du trafic des Grands Lacs. Si on arrive à creuser le lit du Niagara, le trafic s'étendra jusqu'au pied même des chutes, profitant d'une ligne de docks et d'entrepôts de 30 km de longueur. Un jour viendra où s'étendra, de Buffalo aux chutes, une ville manufacturière ininterrompue, sans cheminées ni fumée, triomphe de la puissance du Niagara.

**Le matériel des chemins de fer aux États-Unis.** — A la date du 30 juin 1903, il y avait en service, sur les chemins de fer des États-Unis, 43 871 locomotives, ce qui présente une augmentation de 2 646, soit 6 0/0, par rapport à l'exercice précédent. Ces locomotives se divisent comme suit : locomotives à voyageurs, 10 570; locomotives à marchandises, 25 444; locomotives de manœuvres, 7 058; enfin, 799 ne sont rangées dans aucune de ces divisions.

Le nombre total de véhicules de toute catégorie s'élevait, à la date indiquée ci-dessus, à 1 753 329, montrant une augmentation de 113 204, soit 6,4 0/0, par rapport à l'année précédente. Ce matériel se divise comme suit : service des voyageurs, 38 140 véhicules; service des marchandises, 1 653 782; les 61 467 véhicules restant étant employés par les chemins de fer pour leur service personnel. Les wagons appartenant à des compagnies ou à des particuliers ne sont pas compris dans les chiffres précédents.

Le nombre moyen de locomotives par 1 000 km de lignes ressort à 133, ce qui donne une augmentation de 5 sur l'année précédente. Le nombre moyen de véhicules également par 1 000 km de lignes est de 5 304, ce qui donne une augmentation de 214.

Le nombre des voyageurs transportés à 1 km par locomotive à voyageurs s'est élevé pendant l'exercice considéré à 3 185 845, présentant une augmentation de 113 466. Le nombre de tonnes kilométriques par locomotive à marchandises a été de 10 960 848, montrant un accroissement de 227 785 par rapport à l'exercice précédent.

Le nombre total de locomotives, voitures et wagons en service sur les chemins de fer s'élevait à la date indiquée plus haut à 1 797 260. Sur ce chiffre, 1 462 239 étaient munis de freins continus, ce qui donne de cette date à la précédente une augmentation de 155 414, et 1 770 558 portaient des attelages automatiques, soit un accroissement de 122 028. On peut dire que toutes les locomotives et véhicules employés au transport

des voyageurs ont des freins continus et, sur les 10 570 locomotives figurant dans ce service, 10 110 ont des attelages automatiques. Il n'y a que quelques rares véhicules figurant dans les trains de voyageurs qui n'aient pas encore ce genre d'attelage. Quant au service des marchandises, la plupart des locomotives qui lui appartiennent portent des freins continus et 98 0/0 d'entre elles ont des attelages automatiques. Sur les 1 653 782 wagons de ce service employés au 30 juin 1903, il y en avait 1 352 128 pourvus de freins continus et 1 632 330 d'attelages automatiques.

Les rapports auxquels les chiffres précédents sont empruntés, continuant la voie inaugurée en 1902, contiennent des indications sommaires sur les types de locomotives, leur effet utile et la capacité des wagons à marchandises.

Les locomotives y sont classifiées comme locomotives à simple expansion, locomotives compound à quatre cylindres et locomotives compound à deux cylindres. Ces machines sont aussi classifiées suivant le nombre d'essieux moteurs et d'essieux porteurs.

Les wagons à marchandises sont divisés en : wagons fermés, wagons plates-formes, wagons à bois, à charbon, wagons-réservoirs, frigorifiques, etc. Des subdivisions sont basées sur la capacité, la première, la classe I comprenant les wagons pouvant porter 4 500 kg ; la classe II, 9 000 kg et ainsi de suite par degrés de 4 500 kg ou 1 000 livres.

Il est utile d'ajouter qu'au 30 juin 1903, la longueur totale de simple voie des chemins de fer des États-Unis s'élevait à 335 000 km en nombres ronds, donnant par rapport à l'année précédente un accroissement de longueur de 8 893 km, le plus fort qui ait été constaté depuis 1890.

**Procédé direct de fabrication de l'acier.** — On a, parait il, expérimenté avec succès, à Melbourne, en Australie, un procédé de traitement des minerais magnétiques de la Nouvelle-Zélande pour la production directe de l'acier. Ces essais, faits d'abord sur une petite échelle ont été renouvelés sur une plus grande et on a obtenu des résultats décidément favorables. Voici le principe de la méthode employée.

Les minerais sont à l'état de sable et on les sépare de la gangue par des trieurs magnétiques. Ce sable est introduit dans un four qui forme la partie essentielle du procédé. C'est un four rotatif incliné animé d'un mouvement lent de rotation autour de son axe ; il est chauffé au rouge sombre par les chaleurs perdues d'une opération subséquente.

Le minerai introduit par une extrémité le parcourt lentement pour sortir par l'autre. De ce premier four, la matière passe à un second disposé de la même manière dans lequel elle est soumise à l'action réductrice de gaz, action sous laquelle l'oxyde magnétique de fer passe à l'état métallique. De ce four les gouttelettes de métal tombent dans un bain de fusion où se réunit selon les cas le fer ou l'acier et on le prend pour lui faire subir les traitements subséquents nécessaires.

Le procédé est d'une grande simplicité, mais la partie la plus intéressante est que le chauffage des fours se fait au moyen du combustible liquide qui est plus convenable pour réaliser une température élevée dans l'intérieur des fours. On a constaté la supériorité de ce combus-

tible pour cette application sur les gaz de gazogènes, non seulement au point de vue de l'économie, mais aussi à cause de la facilité de régler la température.

La question de la température joue en effet un rôle très important dans l'application de la méthode qui vient d'être indiquée. Le minerai de fer fond entre 1 500 et 2 000° C., selon son plus ou moins de pureté. Pour qu'on puisse obtenir des températures constantes on a dû recourir à l'emploi de thermomètres thermo-électriques. L'appareil dont on se sert est formé d'une soudure de tiges de platine et d'iridium contenues dans un tube métallique de 0,90 m de longueur placé au centre du four, la température se lit sur le cadran d'une forme spéciale de voltmètre dont chaque division représente 25° C. La graduation va jusqu'à 1 600° et le cadran peut être placé à une distance convenable du four.

Les divers thermomètres sont mis en relation avec un tableau. On peut donc connaître d'un seul coup d'œil la température dans les diverses parties du four et régler ces températures comme il convient. Il est intéressant de faire remarquer que ces appareils sont si sensibles qu'on a pu dans les essais, apprécier des différences de température de 1° C. La température la plus élevée qui ait été constatée a été de 1 300° C. Ces renseignements sont extraits d'un rapport du consul général des États-Unis à Melbourne.

**L'action des explosifs.** — Il n'est pas sans intérêt d'indiquer brièvement de quelle manière une cartouche contenant un explosif agit pour briser et déplacer le rocher ou matières analogues. M. O. H. Howart expose dans le journal *Mines and Minerals* quelques considérations à ce sujet.

Il faut d'abord remarquer que, dans la décharge d'un explosif opérée dans les conditions d'un coup de mine, la décomposition est accompagnée de deux phénomènes qui contribuent tous deux au développement de l'énergie emmagasinée dans la matière explosive, savoir : 1° la formation de gaz dont le volume représente plusieurs centaines de fois le volume de l'explosif solide et 2° la production simultanée d'une très haute température qui augmente considérablement l'effet d'expansion des gaz.

La valeur dynamique d'un explosif dépend donc de la proportion entre le volume de la matière primitive et celui des gaz produits à la pression normale extérieure et à la température produite par leur combustion, c'est-à-dire le volume qu'ils occuperaient à la pression du milieu ambiant, soit la pression atmosphérique ou toute autre. Il en résulte que l'effet brisant d'un explosif ne sera pas le même s'il est employé dans le vide, par exemple, ou sous une pression supérieure à celle de l'atmosphère, soit au fond de la mer, sous une charge de 1 000 ou 1 500 m d'eau. De même l'effet utile serait différent suivant que la température du milieu ambiant serait celle de l'atmosphère du soleil ou celle du zéro absolu. Il va sans dire que ces exemples extrêmes ne sont introduits ici que pour le raisonnement, mais on n'en doit pas moins tenir compte des différences bien plus modestes de températures qui se rencontrent dans la pratique. L'action d'une charge est en effet bien plus grande sur le

sommet d'une montagne, telle que le Mont-Blanc, qu'au fond d'un port, sous 8 ou 9 m de profondeur d'eau.

En pratique il n'y a pas d'explosion absolument instantanée, d'autre part il n'y a point de limite de vitesse qui permette de définir l'explosion. On peut citer quelques faits à l'appui de cette assertion. Ainsi le curieux composé si instable qu'on appelle l'iodure d'ammonium fait explosion par le frottement d'une barbe de plume et la rapidité de sa décomposition est telle qu'on peut le faire détoner en en laissant tomber une parcelle sur une nappe d'eau, l'explosion se produit donc avant que la matière ait eu le temps d'absorber la moindre particule du liquide. On peut mettre en opposition la lenteur relative avec laquelle se produit l'explosion d'un mélange de gaz et d'air accumulé dans une pièce ou dans une mine, explosion qui, suivant les cas, peut aller d'une fraction de seconde à une période à laquelle on peut à peine qualifier le phénomène d'explosion. En présence de ces différences énormes de vitesse, on peut se demander quelle est la vitesse de combustion qui donnera le meilleur effet utile pour la désagrégation de la roche; c'est la question de la température qui joue ici le rôle principal.

Il semble évident qu'une quantité donnée de chaleur, développée au centre d'explosion et rapidement absorbée autour du même point, donnera un effet d'expansion moindre que la même quantité de chaleur moins rapidement absorbée et capable par conséquent de maintenir la température élevée du gaz pendant un temps appréciable. Le degré de rapidité, il vaudrait mieux dire le degré de lenteur, de l'explosion devient donc un élément dont il faut tenir compte si on se propose de réaliser le meilleur effet utile. Les mineurs se rendent compte de cette influence, au moins d'une manière sommaire et ils savent très bien les cas où il faut employer la dynamite seule, ou lui adjoindre une certaine quantité de poudre noire.

Les mêmes principes s'appliquent, bien que d'une manière peut-être moins nette, aux moyens de determiner l'explosion. On sait que plusieurs des explosifs modernes, tels que la cordite et la mélinite brûlent tranquillement au contact d'une flamme et qu'on ne peut les faire détoner que par l'action d'un détonateur.

Ce qui se produit dans le premier cas est analogue à ce qu'on a exposé ci-dessus. Les parties de l'explosif les plus voisines de la source de chaleur voient leur température s'élever graduellement jusqu'à arriver à celle de la combustion et communiquent en même temps leur chaleur aux parties voisines, de sorte que leur propagation dans la masse totale se fait avec une lenteur relative. Si, au contraire, l'application de la chaleur à la première partie de l'explosif s'effectue avec une rapidité telle que le calorique ne peut se dissiper, la chaleur se répartit brusquement dans toute la masse et l'explosion a lieu. On peut expliquer par les mêmes considérations comment se produisent les explosions accidentelles dont trop souvent on ne connait pas la cause; elles seraient dues à une concentration brusque de la chaleur sur un point autour duquel elle n'a pas le temps de se répandre. Un glissement de la lame du couteau dans la dangereuse opération consistant à couper une cartouche de dynamite, glissement dont ne s'aperçoit même pas l'ouvrier,

peut amener une explosion dont il est victime. Ce fait n'est malheureusement pas rare. Il est amené par le désir du mineur d'augmenter la force du coup en ajoutant à la dynamite une certaine quantité de poudre noire.

La question de la vitesse de l'explosion est, dans une certaine mesure, une question d'espèce. Il n'y a point de règle générale pour charger un coup de mine, pour la raison que le mineur ne peut pas voir au fond d'un trou quelles seront les conditions dans lesquelles les gaz développés et la chaleur produite pourront se disperser.

La question pratique est d'obtenir la vitesse correspondante à l'effet utile maximum. Les facteurs essentiels sont la nature et la structure de la matière à désagréger et c'est d'après ces circonstances qu'on doit se diriger. Une fois les conditions générales bien déterminées, la disposition et le chargement des coups de mines doivent être réglés d'après les dispositions locales et les données de l'expérience. Le jugement de l'opérateur joue un rôle important pour le succès des opérations.

**Procédé de reproduction des dessins.** — Tous les mécaniciens connaissent le papier dit « métallique » dont on se sert pour tracer les diagrammes d'indicateurs. Ce papier possède une surface lisse préparée chimiquement, de manière que des lignes noires y soient tracées par des tiges de laiton, de cuivre, d'aluminium ou d'argent, c'est-à-dire de métaux tendres. Ce qui le fait employer pour les diagrammes d'indicateurs, est la très faible résistance qu'éprouve la pointe de cuivre qui forme le crayon et le fait que cette pointe reste toujours plus aiguë que ne le ferait une pointe de graphite.

Une autre propriété, très peu connue celle-là, que possède ce papier et qui lui donne une valeur très sérieuse, dans un ordre d'idées tout à fait différent du précédent, est qu'il peut être employé pour la reproduction de tracés en noir imprimés ou faits à l'encre ou au crayon. Si on place une feuille de ce papier sur une gravure, la face préparée en contact avec elle, et qu'on exerce sur l'autre face un frottement avec un objet un peu dur, tel que le manche arrondi d'un couteau de poche ou quelque chose d'analogue, la gravure se reproduit sur la feuille de papier. Cette reproduction se fait aux dépens de l'encre de la gravure, mais l'emprunt fait à cette encre est si faible que l'aspect de l'original n'est pas modifié de manière appréciable.

Il est nécessaire d'opérer une certaine pression sur le papier, mais la pression seule ne suffit pas, il faut qu'il se produise un très léger frottement sur la surface encrée, frottement obtenu par l'action de l'outil sur la surface supérieure du papier. Naturellement ce frottement ne doit amener qu'un déplacement relatif inappréciable entre les surfaces en contact, autrement la reproduction donnerait une image entièrement confuse.

On doit recouvrir le papier métallique d'un carton mince sur lequel on fait agir l'outil, et qu'on presse avec le pouce et l'index, tandis qu'on promène l'outil d'un côté à l'autre et de haut en bas. Il ne faut guère qu'une minute pour reproduire un dessin de 60 $\times$ 60 mm. Le procédé devient plus difficile à employer si les dimensions augmentent et il ne parait pas qu'on puisse actuellement dépasser 100 $\times$ 100.

On peut, de temps en temps, soulever un angle du papier supérieur pour suivre les progrès de l'opération.

Ce qui réussit le mieux avec cette méthode, ce sont les dessins avec forte opposition entre le noir et le blanc, au contraire les demi-teintes viennent mal et le procédé n'est pas à recommander pour les dessins qui en comportent.

Il est évident qu'on obtient une reproduction renversée comme dans un cliché de photographie. Dans beaucoup de cas, ce renversement n'a pas d'inconvénients, dans le cas contraire, si, par exemple, il y a de l'écriture sur les dessins, on peut opérer sur l'épreuve obtenue comme on l'a fait sur l'original et obtenir une seconde épreuve qui, elle, est redressée. Cette épreuve est naturellement plus pâle que la première, mais elle est encore suffisamment visible pour pouvoir être retouchée au crayon.

Pour avoir un tracé de diagramme d'indicateur, le papier est préparé au moyen d'un mélange de blanc de zinc avec de l'amidon et de la gomme en quantité suffisante pour le faire adhérer au papier. Quand celui-ci est sec, on le passe entre les cylindres d'une presse à satiner les épreuves de photographie. Les différentes marques qu'on trouve dans le commerce ne sont pas toutes également propres à ce procédé. Si on pouvait obtenir des feuilles d'un papier plus résistant avec le même poli de surface, on arriverait probablement à faire des épreuves de plus grandes dimensions.

Il est à remarquer que certains papiers, par exemple ceux qu'on emploie pour des catalogues illustrés très soignés, ont la propriété de reproduire les dessins bien qu'ils ne conservent pas la trace du passage d'un crayon métallique; mais ils ne prennent pas assez d'encre aux tracés originaux pour donner des reproductions suffisamment nettes, et sous ce rapport, ne sauraient supporter la comparaison avec le papier pour diagramme d'indicateur.

On doit faire un choix parmi les dessins qu'on veut reproduire, pour obtenir de bons résultats. L'encre d'imprimerie donne, en général, des reproductions satisfaisantes, mais certaines réussissent mieux que d'autres et, quelquefois, on n'obtient que des images très pâles. L'ancienneté de l'épreuve originale ne paraît pas exercer d'influence sur la reproduction, car on peut obtenir de très bons résultats avec de vieilles gravures et de mauvaises avec de récentes, et il est à noter que la découverte de ce procédé a eu lieu par suite de l'oubli d'une feuille de papier à diagramme, dans un ouvrage datant d'une centaine d'années.

Tout le monde a pu constater, en regardant des livres anciens, que l'impression d'une page est souvent reproduite sur une page en regard. Ce fait est dû probablement à une action chimique entre l'encre et le papier et non à un effet mécanique, or, en général, l'encre est sèche lorsqu'on relie le livre et il est rare que celui-ci une fois relié soit exposé à un frottement ou à une forte pression.

Les ingénieurs et les dessinateurs ont souvent senti le besoin d'avoir rapidement des reproductions, même imparfaites ou peu visibles, de détails d'un dessin, détails qui seraient très longs ou difficiles à obtenir par le dessin. Combien de fois des personnes, au cours de la lecture

d'ouvrages scientifiques, n'ont-elles pas éprouvé le désir de garder copie de dessins contenus dans des ouvrages rares ou d'un prix trop élevé. Le procédé dont nous venons de parler fournit un moyen rapide et commode de résoudre le problème sans aucun danger pour les originaux. Il donne déjà d'excellents résultats pour de petites épreuves et on peut espérer qu'on pourra plus tard l'utiliser sur de plus grandes dimensions.

On a, tout récemment, perfectionné cette méthode de la manière suivante : on place la feuille de papier métallique, la face préparée en dessus, sur une douzaine au moins de feuilles de papier blanc. L'épreuve imprimée est placée dessus avec le tracé en contact; on la recouvre d'une feuille de papier fort ou de carton mince sur laquelle on opère le frottement. On peut opérer ainsi facilement sur une feuille de 0,20 à 0,25 m de côté. Ces renseignements sont donnés par le journal *Machinery*.

Le procédé dont il vient d'être question, nous rappelle une méthode basée sur le même principe, et que nous avons eu l'occasion de voir mettre en pratique il y a près de quarante ans. Comme elle paraît fort peu connue on nous saura peut être gré de l'indiquer. Un professeur de physique d'une école industrielle de province, désireux d'illustrer son cours par des projections d'appareils et ne disposant que de très faibles ressources, surtout à une époque où la photographie était loin d'avoir atteint le développement que nous constatons aujourd'hui, se servait de plaques de verre collodionées sur lesquelles l'empreinte des images d'un ouvrage de physique (le traité bien connu de Ganot) était produite par simple pression. On obtenait ainsi, pour ainsi dire sans frais, les clichés pour projections.

# COMPTES RENDUS

## SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

### Décembre 1904.

**Notice nécrologique** sur M. S. Tétard, par M. J. Bénard.

Rapport de M. Violle sur **la lunette pyrométrique** de M. Ch. Féry.

En cherchant la loi de l'accroissement du rayonnement avec la température, Stéfan est arrivé à la conclusion inattendue que la loi était particulièrement simple pour le rayonnement total, lequel, dans les corps noirs, varie comme la quatrième puissance de la température absolue; tous les travaux ultérieurs sont venus confirmer cette relation fondamentale.

Dans l'appareil de M. Féry, basé sur ce principe, le rayonnement du corps noir incandescent est reçu sur un petit disque d'argent noirci au centre duquel est fixée l'une des soudures d'un couple thermo-électrique dont l'autre soudure est reliée à une masse métallique à l'abri du rayonnement considéré. L'appareil a la forme d'une lunette avec laquelle on vise le corps chaud. La lecture de la déviation accusée sous l'effet du couple thermo-électrique par un galvanomètre relié à la lunette fait connaître la température du corps noir à l'intérieur du four.

Rapport de M. Hillairet sur **le traité pratique de traction électrique** de MM. L. Barbillon et G.-F. Griffith.

Rapport de M. Vogt sur **les études des argiles de France** de MM. Laverard et Laville.

Cette étude, qui présente un grand intérêt pour l'industrie céramique et la métallurgie, comprend deux parties distinctes : l'une géologique et l'autre chimique; dans cette dernière, après l'étude de la composition, on a recherché la température de fusion des argiles; on a trouvé, à ce dernier point de vue, de très grandes variations. Ainsi, certains argiles du bassin de Paris fondent à 1150 degrés, tandis que des argiles de la Dordogne et de l'Eure ne fondent que vers 1 800 et 1 850 degrés.

**Huiles et graisses, leurs usages et leurs applications,** d'après le docteur J. Lewkowitsch (reproduit de la *Society of Arts*).

Cette note étudie les sources des huiles et graisses, leur extraction, la saponification, l'industrie des bougies, celle des savons, etc.

**Notes de mécanique.** — On trouve sous cette rubrique une note sur le calcul graphique des arbres de transmission, d'après M. L. Vogel, la description de la machine électrique d'extraction des mines de Ligny-les-Aire, celle de l'écartographe pour la vérification des guidages de

puits de mines, une note sur l'état actuel de la traction électrique sur les chemins de fer et une étude sur la gazéification des combustibles végétaux et la génération d'une force motrice économique en agriculture.

## ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

*3e trimestre de 1904.*

**La vie et les travaux de Gauthey,** Ingénieur en chef de la province de Bourgogne, créateur du canal du Centre, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. DE DARTEIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

Gauthey est né en 1732 et mort en 1806. Ses travaux portent sur l'architecture et sur les travaux publics. Dans la première classe figurent des œuvres remarquables, telles que l'église de Givry, le château de Chagny et le théâtre de Chalon; il prit à Paris une part considérable aux études et aux discussions relatives à la stabilité des piliers qui soutiennent le dôme du Panthéon. Dans les travaux publics, l'œuvre maîtresse de Gauthey est le canal du Centre, commencé en 1783 et achevé en 1793; il a 114,3 km de longueur et compte 80 écluses, 71 ponts et 76 aqueducs. Il a en outre construit, comme Ingénieur en chef de la province de Bourgogne, 15 ponts, dont le plus important est celui de Navilly, sur le Doubs, formé de cinq arches de 23 m et dont une description étendue est donnée à la suite de la présente note.

**Le canal de Dortmund à l'Ems.** Notice par MM. LA RIVIÈRE et BOURGUIN, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le canal de Dortmund à l'Ems est fait pour porter des bâtiments de 67 m de longueur, 8,20 m de largeur et 2 m de tirant d'eau. On sait qu'un des ouvrages les plus remarquables de ce canal est l'ascenseur d'Henrichenburg, dont nous avons eu occasion de parler dans la Chronique d'août 1896, page 327 et qui franchit une différence de niveau normale de 14 m. Il y a, en outre, dix-neuf écluses dont huit simples, neuf grandes pour trains remorqués composés d'un remorqueur et de deux bateaux; ces écluses ont 165 m de longueur utile, et deux écluses pour le canal latéral d'Oldersum à Borsum qui ont des sas de 100 m de longueur.

L'alimentation du canal se fait par l'usine de la Lippe qui comprend trois pompes centrifuges mues par autant de machines à vapeur de 350 ch; chaque pompe donne environ 1 m³ par seconde élevée à 16 m.

Le canal comporte encore, comme travaux d'art, trois grands ponts-canaux de 37,50 m à 63 m d'ouverture et trois petits de 8 m; des portes de garde qui sont nécessaires dans les trois longs biefs pour les fractionner en cas d'accidents et aussi pour prévenir les dénivellations importantes produites par le vent dans les longs biefs orientés du sud au nord. On trouve aussi cinq barrages mobiles dont quatre à aiguilles et un à vannes établis sur l'Ems canalisée. Quant aux ponts construits sur le

canal, leur nombre s'élève à 185 dont 112 d'un type uniforme de 31 m d'ouverture; ils sont tous en métal; sur ce nombre on compte deux ponts tournants et deux ponts levants. On peut citer, parmi les accessoires, une cale sèche accolée à l'écluse de Munster et qui a 65 m de longueur sur 9,50 m de largeur et un bateau-atelier très utile pour l'exploitation du canal. Il est muni de deux hélices, qui lui permettent de se déplacer assez rapidement, de pompes, de grues, cabestans, etc. Une installation d'accumulateurs électriques permet de mettre les divers engins en action en attendant la mise en pression de la chaudière.

Il existe sur le parcours du canal de nombreux ports dont les plus importants sont ceux de Munster, de Dortmund et d'Emden.

Le canal est fréquenté par le matériel ordinaire de la batellerie, mais il a été créé un type spécial de chalands en fer capables d'utiliser au mieux les dimensions de cette voie navigable; ils ont 65 à 67 m de longueur, 8,20 m de largeur et 2 m de tirant d'eau et portent, à ce tirant d'eau, 950 t. Il existe des porteurs à vapeur de 200 ch et des remorqueurs de 25 à 200 ch.

Le trafic, en 1903, ne s'élevait encore qu'à 740 000 t, mais il paraît devoir se développer rapidement.

**Sur un moyen de détruire les algues** et certaines bactéries pathogènes ou d'en empêcher la multiplication dans les eaux potables, par M. le docteur Imbeaux, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette note, rédigée d'après une brochure du Département de l'Agriculture des États-Unis, entre d'abord dans des considérations étendues sur la nature des organismes qui apportent à l'eau un goût et une odeur désagréables. Si on n'est pas d'accord sur le point de savoir si l'odeur et la présence même des organismes odorants dans l'eau de boisson sont dangereuses pour la santé, on l'est sur la nécessité d'écarter des eaux potables les bactéries pathogènes.

La note passe en revue les divers remèdes qu'on peut employer contre l'invasion des organismes inférieurs et notamment l'action du cuivre, soit à l'état métallique, soit sous forme de sulfate. Il ne semble pas que cette action, surtout sous la seconde forme, soit appelée à remplacer les autres méthodes de stérilisation et notamment la filtration au sable, mais elle peut rendre de réels services dans certains cas où on ne dispose pas d'autres ressources.

**Note sur les travaux du Simplon,** par M. Denizet, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Nous croyons pouvoir renvoyer pour cette question nos Collègues aux divers articles que nous avons donnés dans ces Chroniques.

Notice sur **les procédés à l'air comprimé** employés pour la construction d'un nouveau bassin de radoub dans l'arsenal maritime de la Carraca (près Cadix), par M. Zschokke, Ingénieur.

Ce bassin, de 150 m de longueur et de 30 m de largeur, avec le radier à 11 m sous le niveau des hautes mers, devait être construit dans la vase et ne rencontrer qu'à de grandes profondeurs le terrain solide. On de-

vait donc faire descendre les fondations des bajoyers sur tout le pourtour jusque sur ce terrain et créer ainsi un mur d'enceinte étanche à l'abri duquel on opérerait le déblaiement de l'intérieur; on construirait ensuite le radier à ciel ouvert en asséchant la fouille. On a fait descendre à l'air comprimé vingt-trois caissons en maçonnerie qui étaient joints par une encoche ménagée aux extrémités, encoche qu'on remplissait de béton après le fonçage.

Le programme, indiqué plus haut, se trouva modifié en ce que le terrain solide prévu était un banc de rocher qu'on ne put rencontrer et qui se trouva remplacé par des bancs de sable très aquifères. Ne pouvant dès lors déblayer à ciel ouvert l'emplacement du radier, on dut l'exécuter à l'air comprimé au moyen de dix caissons accessoires permettant d'établir des chambres de travail.

L'exécution de ces travaux prouve qu'il est possible d'exécuter des fondations pneumatiques avec des chambres de travail en béton, qu'il suffit d'armer, suivant les cas, de plus ou moins de fer. Ces chambres sont très économiques et plus rapidement prêtes à servir que les caissons métalliques dont la fabrication absorbe un temps parfois très précieux.

Note sur **une réalisation pratique de la fumivorité sur les locomotives,** par M. E. Bernheim, Ingénieur des Mines.

Cette note a paru dans le Bulletin de la Société d'Encouragement et nous en avons rendu compte dans le Bulletin de décembre 1904, page 839.

---

## ANNALES DES MINES

---

*9^me livraison de 1904.*

Observations préliminaires au sujet de **la décomposition des ciments à la mer,** par M. H. Le Chatelier, Ingénieur en chef des Mines.

Les matières qu'il y a lieu d'envisager dans l'étude de la décomposition des ciments à la mer sont : le ciment, l'eau de mer, les êtres vivants, coquilles et végétaux et, enfin, l'atmosphère ; ces corps sont le siège de phénomènes de nature variée, c'est-à-dire chimiques, physiques et mécaniques; les plus intéressants de beaucoup et les seuls que l'auteur examine dans ce travail sont les phénomènes chimiques. Il y a donc lieu d'étudier la nature chimique des différents corps en présence, les réactions dont ils sont individuellement le siège et, enfin, les doubles décompositions mutuelles qui se produisent entre eux. La note, au cours de cet examen, entre dans de grands détails sur l'action du sulfate de chaux sur les ciments, car c'est à ce corps et à ce corps seul que sont dues toutes les difficultés que présente l'emploi des ciments à la mer.

La seconde partie est consacrée à l'examen des actions mécaniques dues aux phénomènes chimiques, par exemple les gonflements dus à la

formation du sulfo-aluminate de chaux, le développement des forces de désaggrégation et le mécanisme de la déformation progressive.

La troisième partie traite des phénomènes physiques de pénétration des sels de l'eau de mer dans les mortiers, savoir : la porosité, la diffusion, l'élimination de la chaux par diffusion, l'existence des croûtes imperméables et le mécanisme de la décomposition des ciments.

Dans la quatrième partie, l'auteur étudie la décomposition des briquettes par immersion dans des solutions.

La conclusion de cette étude est que la décomposition des éléments actifs des ciments: chaux, aluminates et silicates se produit par leur contact direct avec les sels de l'eau de mer, décomposition dont le résultat est l'entraînement en dissolution de la totalité de la chaux. Tous les phénomènes de décomposition à la mer sont sous la dépendance de la formation d'une croûte superficielle très mince dont l'imperméabilité tend à s'opposer aux échanges par diffusion et dont, d'autre part, l'expansion, par le fait de la formation du sulfo-aluminate de chaux, occasionne des gonflements et fendillements du mortier, lesquels facilitent ensuite la pénétration de l'eau de mer dans la masse.

*10^me livraison de 1904.*

**Le Block-system automatique** sur les lignes américaines, par M. S. Siegler, Ingénieur des Mines.

Après avoir indiqué sommairement les divers systèmes de signaux employés sur les chemins de fer américains, la note traite particulièrement du block-system automatique qu'on a cherché à employer depuis longtemps déjà en présence de la cherté de la main-d'œuvre aux États-Unis ; les premiers essais remontent à 1876. Il tend aujourd'hui à se répandre ; on le réalise sous diverses formes, chaque Compagnie, pour ainsi dire, ayant la sienne. On peut reprocher à ce système son coût élevé d'établissement qui peut aller jusqu'à 12 000 et 15 000 f par kilomètre, mais, comme on ne l'emploie que sur des lignes à circulation très active, les Compagnies trouvent encore avantage à créer ces installations coûteuses.

En France, les conditions sont très différentes ; on peut se demander, néanmoins, si quelque avenir n'est pas réservé à une méthode qui s'est imposée si rapidement sur les grandes lignes américaines.

Notice sur **les travaux récents du service de la carte géologique de l'Algérie**, par MM. Jacob, Ingénieur en chef des Mines, Directeur du service, et Ficheur, adjoint au Directeur.

La troisième édition de la Carte géologique de l'Algérie au 800 000^e a paru en 1900. L'œuvre à accomplir depuis consistait dans les études de détail sur les feuilles au 50 000^e et au 200 000^e dont une partie avait été entreprise. C'est l'état actuel de ce travail qu'examine la note dont nous nous occupons. L'avancement en est limité par la réduction des crédits affectés au service géologique depuis l'établissement du budget spécial de l'Algérie en 1901, et même les travaux entrepris dans certaines régions sont restés en suspens.

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

### N° 1. — *7 janvier 1905.*

Grue flottante du port de Riga, par L. Müller.

Tours de refroidissement, par Otto Müeller.

Nouvelles machines à forger, construites par C. W. Hasenclever fils, à Dusseldorf, par P. Möller.

La question de la fumée, les rapports entre la production de la fumée et l'utilisation du combustible et les moyens d'atténuer cette production, par F. Haler.

*Groupe de Chemnitz.* — Nouveau procédé pour la préparation de la bière. — Turbines et régulateurs de turbines. — Barrage et tunnel pour l'alimentation d'eau de Chemnitz.

*Groupe de Dresde.* — Les usines à gaz modernes.

*Groupe d'Alsace-Lorraine.* — Progrès dans la question de l'épuration de l'eau et de l'utilisation de la vapeur d'échappement dans les établissements industriels.

*Bibliographie.* — Dictionnaire de technologie et des sciences qui s'y rapportent, par O. Lueger.

*Revue.* — Musée des œuvres de maitrise se rapportant à la technologie et aux sciences naturelles. — Reconstruction d'un pont tournant sur la Rivière Noire. — La presse Huber à l'Exposition de Saint-Louis.

### N° 2. — *14 janvier 1905.*

Les installations électriques de la ville de Münich, par K. Meyer.

Les tours de refroidissement, par Otto H. Müeller *(suite).*

*Exposition de Saint-Louis.* — Le matériel de chemins de fer, par Fr. Gutbrod *(suite).*

*Groupe de la Lenne.* — Chemin de fer électrique sans rails.

*Association des chemins de fer.* — Le développement des voies ferrées dans la région industrielle de la Ruhr, de 1840 à l'époque actuelle.

*Bibliographie.* — Principes fondamentaux de la chimie inorganique, par W. Ostwald.

*Revue.* — Parcours d'essai d'une locomotive électrique du New-York Central and Hudson River R. R. — Résultats d'expériences sur l'emploi des tubes Serve sur des locomotives. — Wagons de tramways pour le transport des câbles roulés sur bobines.

Renseignements des associations de métallurgistes allemands à Dusseldorf, le 4 décembre 1904.

### N° 3. — *21 janvier 1905.*

Moteurs à vapeur des installations électriques à courant alternatif de la ville de Hanovre, par G. Ter Meer.

La question de la fumée, les rapports entre la production de la fumée et l'utilisation du combustible et les moyens d'atténuer cette production, par F. Holer *(suite)*.

Fours à coke, système Collin, par Fr. Frolich.

Classification des turbines, par H. Baashuns.

*Groupe d'Aix-la-Chapelle.* — Les usines sidérurgiques américaines. — Installations en cours de construction des usines de Rote Erde.

*Groupe de Hanovre.* — La question du chauffage domestique. — La mesure du tirage dans les appareils de chauffage.

*Bibliographie.* — Statique et calculs de la résistance des constructions, par G. C. Mehrtens.

*Revue.* — Établissement de normes pour les pièces dans la construction des machines. — Locomotive à grande vitesse des chemins de fer badois.

N° 4. — *28 janvier 1905.*

Nouveaux règlements de police relatifs à la conduite des chaudières à vapeur, par C. Bach.

Les turbines à vapeur système Hamilton-Holzwarth, par A. Bautlin.

Résultats de deux usines d'exploitation par l'électricité avec emploi de courants alternatifs à haute tension sur les chemins de fer de la Valteline, par G. Cserhati.

Les tours de refroidissement, par Otto H. Müeller *(fin)*.

*Groupe de Berlin.* — Les tours de refroidissement.

*Groupe de Poméranie.* — Exploitation économique des installations électriques de force et d'éclairage.

*Bibliographie.* — La fausseté du système métrique, par F. A. Holsey (ouvrage américain). — L'échec du système métrique dans l'industrie textile, par S. S. Dale.

*Revue.* — Questions techniques maritimes, par W. Kaemmerer. — Système de tiroirs de détente, par F. Struad. — Le port de Thèbes sur le Mississipi.

*Pour la Chronique et les Comptes rendus :*

A. Mallet.

# BIBLIOGRAPHIE

## Ire SECTION

**Fouilles et fondations à l'air libre, sous l'eau, à l'air comprimé, déblais souterrains, tunnels, bétons armés, etc.** (1), par Frick, Ingénieur des constructions civiles.

Dans cet ouvrage l'auteur a résumé avec beaucoup de soin, en quatre parties, se subdivisant elles-mêmes en plusieurs chapitres, les différents moyens d'exécution que la science a mis dans la main de l'ingénieur pour vaincre toutes les difficultés rencontrées dans l'établissement des fouilles et fondations à travers des terrains de toute nature.

En préliminaire, l'auteur signale les moyens d'exécution des sondages par procédés américains, etc., les résultats obtenus et les accidents auxquels ils peuvent donner lieu.

La première partie décrit l'exécution des fouilles et fondations à l'air libre par épuisements, par congélation des terrains; sur pieux et pilotis et par puits; fondations sur sol vaseux.

La deuxième partie passe en revue les fouilles et fondations dans l'eau : 1° par dragages et par dérochements et cite les différents appareils connus jusqu'à ce jour pour l'exécution de ces travaux; 2° par batardeaux et caissons; 3° par batardeaux et épuisements.

La troisième partie traite de l'emploi de l'air comprimé dans les fondations, par caissons, et donne plusieurs exemples de grands caissons mobiles et amovibles.

La quatrième partie s'occupe des déblais souterrains et notamment des procédés spéciaux d'exécution des tunnels et décrit plusieurs types de boucliers.

Le manuel se termine par une annexe indiquant les différents systèmes de béton armé employés actuellement; les méthodes de calculs et exemples de quelques applications.

Les Ingénieurs et Conducteurs s'occupant spécialement des fondations de travaux publics y trouveront certainement des renseignements utiles et pratiques.

J.-B. Hersent.

---

**L'irrigation dans les pays tropicaux et subtropicaux** (2), par J.-W. Post.

Dans cette courte notice lue à l'ouverture du Congrès colonial international de Wiesbaden en mai 1904, le regretté J.-W. Post fait un exposé rapide et sommaire de l'état de l'irrigation dans les pays chauds, ce qu'il appelle les pays *tropiques* et *subtropiques*.

(1) In-16, 185 × 120, de VIII-480-16 p., avec 372 fig. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix, relié : 10 f.

(2) In-8°, 215 × 140, de 9 p.

Il pose d'abord en principe que l'irrigation est de la plus haute importance pour la prospérité des pays neufs. Ce qui justifie l'intérêt que porte à cette question le Congrès colonial international.

Puis il passe rapidement en revue la façon dont le problème a été résolu dans l'antiquité et de nos jours, pour la plupart des pays chauds, en commençant, en Europe, par l'Italie, l'Égypte; puis il continue son examen en passant en Afrique, et examine l'Algérie, la Tunisie, l'Égypte, cette terre classique de l'irrigation depuis Sésostris jusqu'au récent barrage d'Assouan qui a englouti l'île de Philée; la colonie du Cap, la colonie allemande du sud-ouest africain.

De là l'auteur passe en Asie avec la Mésopotamie, l'Asie Mineure, dont parle déjà Hérodote; l'Asie Centrale où les Russes ont fait faire de sérieux progrès à la question; la Chine, l'Inde anglaise, l'île de Ceylan, le Siam, le Tonkin, les Indes Néerlandaises.

En Amérique, il signale les Antilles Néerlandaises, le Pérou, le Mexique et les États-Unis du Nord.

Nous consacrerons une étude plus spéciale à l'irrigation aux Indes Néerlandaises pour lesquelles l'auteur était naturellement plus qualifié et qu'il a détaillée dans un mémoire spécial.

Auguste MOREAU.

---

## IIIe SECTION

**Le Congrès d'Aérostation scientifique de 1904 à Saint-Pétersbourg** (1), par M. Paul BORDÉ, Ingénieur, Président de la Société Française de Navigation aérienne.

M. P. Bordé a fait précéder le compte rendu de son voyage à Saint-Pétersbourg d'une préface de M. Wilfrid de Fonvielle, un vétéran de l'aérostation, qui donne l'historique sommaire des congrès précédents d'aérostation et rappelle que l'idée des ballons-sondes, munis d'appareils d'observation scientifique, est due à deux Français, MM. Hermitte et Besançon.

Le récit que fait M. Bordé du Congrès de Saint-Pétersbourg ainsi que des réceptions, visites et expériences auxquelles il a donné lieu, est plein d'humour et comprend l'examen du matériel à employer pour les observations en signalant les services que peuvent rendre les cerfs-volants, moins coûteux que les ballons-sondes.

M. Bordé passe successivement en revue les thermomètres dont un des plus simples et des plus robustes est le thermomètre bi-métallique de M. Teisserenc de Bort, les enregistreurs pour lesquels la maison Richard tient la première place, les appareils d'optique pour l'observation de la position, de la direction et de la vitesse des aérostats, et ceux pour la détermination des éléments électriques de l'atmosphère.

Il termine par les résolutions officielles du Congrès, résolutions exprimées pour la plupart sous forme de vœux et qui visent :

La réalisation d'une entente internationale pour la publication des

(1) In-8°, 235 × 160 de 84 p. Paris, 1905.

résultats donnés par les ascensions de ballons-sondes ou autres; la création par les divers gouvernements d'observatoires de météorologie dynamique; l'organisation de lancers consécutifs pour l'étude des variations atmosphériques de certaines périodes et celle de lancers mensuels pour les observations périodiques; la détermination des conditions que doit remplir le matériel des ballons-sondes; l'emploi des ballons-sondes en tandem et enfin l'emploi de cerfs-volants dans la marine pour les observations météorologiques répétées.

C'est, comme on le voit, un exposé complet, bien que sommaire, des divers points qui intéressent l'aérostation scientifique.

G.-J. Hart.

---

## V[e] SECTION

**Le Liège.** *Ses produits et ses sous-produits*, par M. Martignat, Ingénieur des Arts et Manufactures (1).

Cet ouvrage comprend l'étude de la formation et de la production du liège et celle de son utilisation industrielle.

La première partie comprend l'exposé de la technique de la culture du chêne-liège, en vue d'obtenir le rendement maximum, par les soins donnés soit à l'arbre lui-même, soit au sol où il se développe. Elle se termine par quelques renseignements sur les maladies de ce chêne, la préparation et la vente des lièges.

Dans la deuxième partie, l'auteur s'est proposé d'expliquer les nombreuses applications industrielles du liège : d'abord la fabrication des bouchons, de beaucoup la plus importante; puis la production des agglomérés, la réduction des débris en poudre, leur utilisation dans les linoléums, et enfin les essais de distillation et de combustion du liège. De nombreuses figures, intercalées dans le texte, permettent d'avoir une idée nette des machines employées pour ces diverses applications industrielles.

Pour certains produits, l'auteur a cherché à établir des prix de revient, ce qui peut aider les industriels à déterminer leurs frais de production, et, par suite, le prix de vente.

F. C.

---

## VI[e] SECTION

**Notices sur l'électricité,** extraites de l'*Annuaire du Bureau des longitudes : Electricité statique et dynamique, Production et transport de l'énergie électrique*, par A. Cornu, membre de l'Institut et du Bureau des longitudes, avec une préface de M. Potier, membre de l'Institut (2).

Les notices du regretté professeur Cornu ont été réunies et publiées sous le contrôle de M. A. Potier, membre de l'Institut, et de M. C.-E.

(1) In-8° 190 × 120 de 158 p., avec 20 fig. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C[ie], 1905. Prix broché : 2,50 f.

(2) In-16, 190 × 120, de VII-275 p. avec 37 fig. Paris, Gauthier-Villars, 1904. Prix : broché, 5 f.

Guillaume, directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures : un tel hommage à la mémoire de l'auteur donne un intérêt particulier à cette publication.

La justification de ces notices est exposée dans la préface de M. Potier :

» Beaucoup des anciens élèves de Cornu allaient lui porter leurs do-
» léances et lui exprimer le désir d'être mis en état de comprendre ce
» qui se passait et se disait autour d'eux. . . . . . . . . . .

» ... C'est pour les satisfaire que Cornu entreprit dans les annuaires
» du Bureau des longitudes une série de notices, 1893-1896, où il traite
» des unités électriques et des courants continus, tandis que celles de
» 1900, 1901 et 1902 sont consacrées aux générateurs industriels, à
» l'emploi des courants continus, alternatifs et polyphasés.

» ... Le lecteur y retrouvera la limpidité habituelle que l'on aurait pu
» appeler la qualité maîtresse de Cornu. »

La rédaction de ces notices est présentée sous une forme élémentaire, tendant vers la vulgarisation, suivant le genre adopté dans la publication annuelle du Bureau des longitudes.

---

**Enroulements d'induits à courant continu. Théorie élémentaire et règles du bobinage,** par E.-J. Brunswick et M. Aliamet (*Encyclopédie des Aide-mémoire-Léauté*) (1).

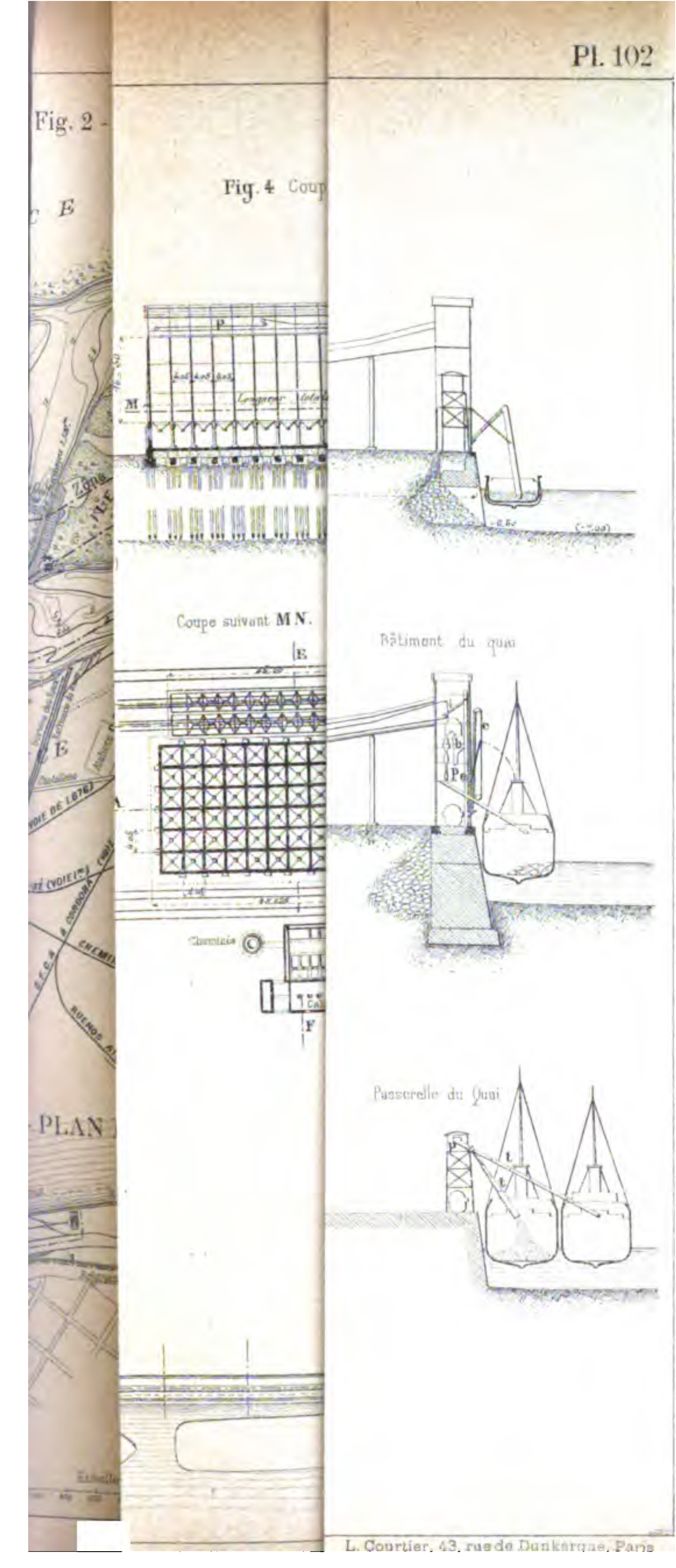
Au milieu de publications traitant du même sujet, celle de MM. Brunswick et Aliamet se présente avec une recherche de la clarté digne des deux Ingénieurs auxquels sont familiers l'étude et la pratique du bobinage. On trouvera dans ce volume, après un rappel des notions préliminaires concernant la production des forces électro-motrices dans les induits à courant continu, des généralités sur les enroulements, puis l'étude des enroulements simples ou multiples, des pas des enroulements et des formules de bobinage, plusieurs schémas et tableaux d'enroulement et un exposé des propriétés des divers genres d'enroulement.

En réalité, cet ouvrage constitue un véritable manuel qui rendra service aux praticiens et à l'enseignement professionnel.

(1) In-8°, 190 × 120, de 188 p. avec 61 fig. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^ie^, 1904. Prix : broché, 2,50 f.

---

*Le Secrétaire Administratif, Gérant,*
A. de Dax.


Pl. 102
Fig. 2 -
Fig. 4 Coup
Coupe suivant M N.
Bâtiment du quai
Passerelle du Quai
Cheminée
PLAN
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

# LISTE

DES

# PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

REÇUES PAR LA SOCIÉTÉ DES

# INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

AU

# 1er JANVIER

1905

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| **EN FRANÇAIS** | |
| *Académie des Sciences (Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l')* . . | 52 |
| *Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand (Mémoires de l')* | 1 |
| *Aéronaute (L')* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Aérophile (L')* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Almanach Hachette* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Analyse des Eaux prélevées par le Laboratoire Municipal* . . . . . . . . . | 52 |
| *Annales de la Construction (Nouvelles)* . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Annales des Chemins Vicinaux* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Annales des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Contrôleurs des Mines* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Annales des Mines* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Annales des Mines de Belgique (Bruxelles)* . . . . . . . . . . . . . | 4 |
| *Annales des Ponts et Chaussées. Partie Administrative* . . . . . . . . . . | 12 |
| *Annales des Ponts et Chaussées. Partie Technique* . . . . . . . . . . . | 4 |
| *Annales des Travaux Publics de Belgique* . . . . . . . . . . . . . . | 6 |
| *Annales du Commerce Extérieur* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Annales du Ministère de l'Agriculture. Direction de l'Hydraulique et des Améliorations Agricoles* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Année Scientifique et Industrielle (L')* . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Année Technique (L')* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire-Almanach du Commerce, de l'Industrie, etc. (Didot-Bottin)* . . . . | 1 |
| *Annuaire-Chaix. Les Principales Sociétés par Actions* . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire d'Adresses des Fonctionnaires du Ministère des Travaux Publics* . . | 1 |
| *Annuaire de l'Administration des Postes et des Télégraphes de France* . . . . | 1 |
| *Annuaire de la Librairie Française* . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire de la Presse Française et du Monde Politique* . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire de la Traction : Automobiles, Cycles, Chemins de fer, Tramways, et les Industries qui s'y rattachent* . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire des Journaux* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire des Longitudes* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire du Bâtiment (Sageret)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Annuaire du Ministère des Travaux Publics* . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire et Aide-Mémoire des Mines, de la Métallurgie, de la Construction Mécanique et de l'Électricité* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire Général des Industries : Gaz, Eaux, Électricité (Guide-)*. . . . . | 1 |
| *Annuaire Général des Sociétés Françaises par Actions (Cotées et non Cotées) et des Principales Sociétés Étrangères* . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire Marchal des Chemins de Fer et des Tramways*. . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire Statistique de la France* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Annuaire Statistique de la Ville de Paris* . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Architecture (L'), Journal Hebdomadaire de la Société Centrale des Architectes Français* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Association Alsacienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur (Section Française)*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Association Amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale (Bulletin de l')* . . | 12 |
| *Association Amicale des Élèves de l'École Nationale Supérieure des Mines (Bulletin Mensuel de l')* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Associations de Propriétaires d'Appareils à Vapeur (Compte Rendu des Séances des Congrès des Ingénieurs en Chef des)* . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie de France et des Colonies (Bulletin de l')* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Association des Industriels de France contre les Accidents du Travail. Bulletin Bimestriel*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 6 |
| *Association des Ingénieurs-Conseils en Matière de Propriété Industrielle (Bulletin de l')*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Association des Ingénieurs de l'Institut Industriel du Nord* . . . . . . . . | 4 |
| *Association des Ingénieurs Électriciens sortis de l'Institut Électro-Technique Montefiore (Bulletin de l')* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (Annuaire de l')*. . . . . | 1 |
| *Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (Bulletin de l')* . . . . . | 4 |
| *Association des Ingénieurs sortis de l'Université de Bruxelles. École Polytechnique. Liste des Membres*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Association des Ingénieurs sortis des Écoles Spéciales de Gand (Annales de l')* . | 4 |
| *Association des Propriétaires d'Appareils à Vapeur du Nord de la France. Bulletin* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Association Française pour l'Avancement des Sciences. (Bulletin Mensuel de l')* | 12 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Association Française pour l'Avancement des Sciences. Comptes Rendus des Sessions* | 1 |
| *Association Française pour la Protection de la Propriété Industrielle (Bulletin de l')* | 1 |
| *Association Internationale des Méthodes d'Essais des Matériaux de Construction (Réunion des Membres Français et Belges de l') (Paris)* | 12 |
| *Association Internationale pour la Protection de la Propriété Industrielle (Annuaire de l')* | 1 |
| *Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à Vapeur* | 1 |
| *Association Normande pour prévenir les Accidents du Travail (Bulletin de l')* | 1 |
| *Association Parisienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur. Bulletin Annuel.* | 1 |
| *Association Polytechnique (Bulletin Mensuel de l')* | 12 |
| *Association Technique Maritime (Bulletin de l')* | 1 |
| *Avenir des Chemins de Fer (L')* | 52 |
| *Béton Armé (Le)* | 12 |
| *Bibliographie de la France. Journal Général de l'Imprimerie et de la Librairie.* | 52 |
| *Bibliographie des Sciences et de l'Industrie* | 12 |
| *Bulletin des Constructeurs* | 52 |
| *Bulletin des Transports Internationaux par Chemins de Fer (Berne)* | 12 |
| *Bulletin Historique et Scientifique de l'Auvergne* | 12 |
| *Bulletin International de l'Électricité et Journal de l'Électricité réunis* | 24 |
| *Bulletin Municipal Officiel de la Ville de Paris* | 365 |
| *Bulletin Technique. Publié sous les auspices de l'Association des Ingénieurs de l'Institut Industriel du Nord de la France (Valenciennes)* | 12 |
| *Bulletin Technique de la Suisse Romande. Organe en Langue Française de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes (Lausanne)* | 24 |
| *Bureau International des Poids et Mesures (Travaux et Mémoires du)* | ? |
| *Chambres de Commerce (Le Journal des)* | 24 |
| *Chambre de Commerce de Dunkerque (Procès-verbaux des Séances de la)* | 12 |
| *Chambre de Commerce de Dunkerque (Statistique Mensuelle de la)* | 12 |
| *Chambre de Commerce de Paris (Bulletin de la)* | 52 |
| *Chambre de Commerce de Paris (Compte Rendu des Travaux de la)* | 1 |
| *Chambre de Commerce de Rouen (Compte Rendu des Travaux de la)* | 1 |
| *Chambre de Commerce Française d'Alexandrie (Bulletin de la)* | 12 |
| *Chambre de Commerce Française de Portugal (Bulletin de la)* | 12 |
| *Chambre de Commerce Française de Portugal. Compte Rendu Annuel* | 1 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Chambre des Propriétaires (La). Bulletin de la Chambre Syndicale des Propriétés Immobilières de la Ville de Paris* | 24 |
| *Chambre Syndicale des Constructeurs de Machines Agricoles de France* | 12 |
| *Chambre Syndicale des Propriétés Immobilières de la Ville de Paris (Annuaire).* | 1 |
| *Chauffeur (Le). 4e Série du Technologiste* | 24 |
| *Chemin de Fer du Nord. Rapport présenté par le Conseil d'Administration* | 1 |
| *Chemins de Fer, Postes, Télégraphes, Téléphones et Marine du Royaume de Belgique. Compte Rendu des Opérations* | 1 |
| *Ciment (Le)* | 12 |
| *Comité Central des Houillères de France (Annuaire du)* | 1 |
| *Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe* | 1 |
| *Comité de l'Afrique Française (Bulletin du)* | 12 |
| *Comité des Forges de France (Annuaire du)* | 1 |
| *Comité des Forges de France (Bulletin du)* | 104 |
| *Commission Scientifique de Perfectionnement de l'Observatoire Municipal de Montsouris* | 1 |
| *Compagnie Générale des Omnibus de Paris. Rapport du Conseil d'Administration* | 1 |
| *Compagnie Générale des Voitures à Paris. Rapport du Conseil d'Administration.* | 1 |
| *Congrès des Chemins de Fer (Bulletin du)* | 12 |
| *Congrès des Sociétés Savantes. Discours prononcés à la Séance du Congrès* | 1 |
| *Congrès des Sociétés Savantes. Programme du Congrès* | 1 |
| *Congrès International des Accidents du Travail (Bulletin du Comité Permanent du).* | 4 |
| *Conseil d'Hygiène Publique et de Salubrité du Département de la Seine (Compte Rendu des Séances du).* | 26 |
| *Conseil Supérieur du Travail* | 1 |
| *Construction Moderne (La)* | 52 |
| *Cosmos (Le)* | 52 |
| *Cycle et Automobile Industriels* | 52 |
| *Écho des Mines et de la Métallurgie (L').* | 104 |
| *Éclairage Électrique (L'). Revue Hebdomadaire des Transformations Électriques, Mécaniques, Thermiques de l'Énergie* | 52 |
| *École Nationale des Ponts et Chaussées. Collection de Dessins distribués aux Élèves. Légendes Explicatives des Planches* | ? |
| *École Nationale des Ponts et Chaussées (Voir :* Annales des Ponts et Chaussées). | » |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *École Nationale Supérieure des Mines (Voir :* Annales des Mines) . . . . | » |
| *École Spéciale d'Architecture. Concours de Sortie.* . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *École Spéciale d'Architecture. Séance d'Ouverture* . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *École Spéciale de Travaux Publics (Voir :* L'Ingénieur-Constructeur de Travaux Publics) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | » |
| *Économiste Français (L').* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Électricien (L').* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Electrochimie (L').* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *France Automobile (La)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Génie Civil (Le)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Glace et les Industries du Froid (La)* . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Globe Trotter (Le).* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Houille Blanche (La) Revue générale des Forces Hydro-Électriques et de leurs Applications.* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Illustration (L').* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Industrie Électrique (L').* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Ingénieur-Constructeur de Travaux Publics (L') Revue trimestrielle. Organe Officiel de l'Association Amicale des Élèves et anciens Élèves de l'École Spéciale de Travaux Publics* . . . . . . . . . . . . . . . . | 4 |
| *Inspection du Travail (Bulletin de l').* . . . . . . . . . . . . . . . . | 6 |
| *Institut des Actuaires Français (Bulletin de l').* . . . . . . . . . . . . | 4 |
| *Institut Égyptien (Bulletin de l').* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 8 |
| *Inventions Illustrées (Les).* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Journal Amusant (Le).* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Journal d'Agriculture Pratique* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Journal de la Meunerie* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Journal de l'Éclairage au Gaz* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Journal de l'Électrolyse* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Journal des Chemins de Fer* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Journal des Transports* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Journal des Travaux Publics* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 104 |
| *Journal des Usines à Gaz* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Journal du Pétrole et des Industries qui s'y rattachent* . . . . . . . . . | 36 |
| *Journal Officiel.* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 365 |
| *Journal Technique et Industriel.* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Journal Télégraphique (Berne)* | 12 |
| *Laboratoire d'Essais Mécaniques, Physiques, Chimiques et de Machines du Conservatoire National des Arts et Métiers (Bulletin du)* | ? |
| *Locomotion Automobile (La)* | 52 |
| *Marine Française (La)* | 12 |
| *Matériaux de Construction (Les) (Stuttgart)* | 24 |
| *Mécanique. Électricité. Journal Technique Mensuel* | 12 |
| *Mémorial du Génie Maritime* | 2 |
| *Métallurgie et la Construction Mécanique (La)* | 52 |
| *Mois Minier et Métallurgique (Le)* | 12 |
| *Mois Scientifique et Industriel. Revue Internationale d'Informations* | 12 |
| *Monde Illustré (Le)* | 52 |
| *Moniteur de l'Industrie et de la Construction et Bulletin de la Classe d'Industrie et de Commerce de la Société des Arts de Genève* | 24 |
| *Moniteur de la Céramique, de la Verrerie, etc.* | 24 |
| *Moniteur de la Papeterie Française et de l'Industrie du Papier (Le)* | 24 |
| *Moniteur des Fils et Tissus* | 52 |
| *Moniteur des Intérêts Matériels* | 104 |
| *Moniteur Officiel du Commerce* | 52 |
| *Moniteur Scientifique du Docteur Quesneville* | 12 |
| *Mouvement Industriel et les Brevets Français (Le)* | 46 |
| *Musée Social (Annales)* | 12 |
| *Musée Social (Mémoires et Documents)* | 12 |
| *Nature (La)* | 52 |
| *Observatoire de Nice (Annales de l')* | ? |
| *Observatoire Météorologique, Physique et Glaciaire du Mont-Blanc (Annales de l')* | ? |
| *Office Colonial (Feuille de Renseignements de l')* | 12 |
| *Office du Travail (Bulletin de l')* | 12 |
| *Office National du Commerce Extérieur* | 1 |
| *Papier (Le)* | 24 |
| *Paris-Hachette. Annuaire Complet, Commercial, Administratif et Mondain.* | 1 |
| *Portefeuille Économique des Machines* | 12 |
| *Publications Nouvelles de la Librairie Gauthier-Villars (Bulletin des)* | 4 |
| *Questions Diplomatiques et Coloniales. Revue de Politique Extérieure* | 24 |
| *Quinzaine Coloniale (La). Organe de l'Union Coloniale Française* | 24 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Radium (Le). La Radioactivité et les Radiations; les Sciences qui s'y rattachent et leurs Applications* | 12 |
| *Rapports Commerciaux des Agents Diplomatiques et Consulaires de France (Annexe au Moniteur Officiel du Commerce)* | 52 |
| *Rapports sur l'Application des Lois réglementant le Travail* | 1 |
| *Recueils Statistiques sur les Métaux suivants : Plomb, Cuivre, Zinc, Étain, Argent, Nickel, Aluminium et Mercure, établis par la Metallgesellschaft et la Metallurgische Gesellschaft A. G. (Francfort-sur-Mein)* | 1 |
| *Réforme Économique (La)* | 46 |
| *Réforme Sociale (La)* | 24 |
| *Régence de Tunis. Bulletin de la Direction de l'Agriculture et du Commerce* | 4 |
| *Répertoire du Journal Officiel de la République Française* | 12 |
| *Répertoire général de Chimie Pure et Appliquée* | 24 |
| *Répertoire général des Fournisseurs de l'Armée, de la Marine et des Travaux Publics* | 1 |
| *Revue Bleue* | 52 |
| *Revue Coloniale* | 6 |
| *Revue d'Artillerie* | 12 |
| *Revue d'Hygiène Publique et de Police Sanitaire* | 12 |
| *Revue de Chimie Industrielle* | 12 |
| *Revue de l'Ingénieur et Index Technique* | 12 |
| *Revue de Législation des Mines en France et en Belgique* | 6 |
| *Revue de Madagascar. Organe du Comité de Madagascar* | 12 |
| *Revue de Mécanique* | 12 |
| *Revue de Métallurgie* | 12 |
| *Revue du Génie Militaire* | 12 |
| *Revue Française de Construction Automobile* | 12 |
| *Revue Générale de Chimie Pure et Appliquée* | 24 |
| *Revue Générale de l'Acétylène* | 52 |
| *Revue Générale de la Marine Marchande* | 52 |
| *Revue Générale des Chemins de Fer et des Tramways* | 12 |
| *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées* | 24 |
| *Revue Horticole* | 24 |
| *Revue Industrielle* | 52 |
| *Revue Maritime* | 12 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Revue Minéralurgique (La), Mines, Métallurgie, Travaux Publics* . . . . . | 12 |
| *Revue Philomathique de Bordeaux et du Sud-Ouest*. . . . . . . . . . . | 12 |
| *Revue Scientifique*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Revue Technique, Annales des Travaux Publics, des Chemins de Fer et de l'Assainissement* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Revue Universelle des Mines, de la Métallurgie, etc.* . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Science, Arts, Nature* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Semaine Financière (La)*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Service Hydrométrique du Bassin de l'Adour. Résumé des Observations sur les Cours d'Eau et la Pluie* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Service Hydrométrique du Bassin de la Seine. Résumé des Observations sur les Cours d'Eau et la Pluie* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Société Académique d'Agriculture, des Sciences, Arts et Belles-Lettres du Département de l'Aube (Mémoires de la)* . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Société Anonyme du Canal et des Installations Maritimes de Bruxelles. Rapport du Conseil d'Administration*. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Société Astronomique de France (Bulletin de la)* . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Société Belge d'Électriciens (Bulletin de la)* . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie (Bulletin de la)* . . | 6 |
| *Société Belge des Ingénieurs et des Industriels (Liste des Membres)*. . . . . | 1 |
| *Société Belge des Ingénieurs et des Industriels. Rapport Annuel*. . . . . . | 1 |
| *Société d'Économie Politique (Bulletin de la)*. . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Bulletin de la)* . . . . . | 12 |
| *Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. Compte Rendu bi-Mensuel des Séances* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Société de Géographie Commerciale de Bordeaux (Bulletin de la)*. . . . . . | 24 |
| *Société de Géographie Commerciale de Paris (Bulletin de la)* . . . . . . . | 12 |
| *Société de Géographie de l'Est (Bulletin de la)* . . . . . . . . . . . . | 4 |
| *Société de l'Industrie Minérale (Bulletin de la)*. . . . . . . . . . . . | 4 |
| *Société de l'Industrie Minérale (Compte Rendu Mensuel des Réunions de la)*. . | 12 |
| *Société de Protection des Apprentis (Bulletin de la)* . . . . . . . . . . | 4 |
| *Société de Secours des Amis des Sciences. Compte Rendu de l'Exercice* . . . . | 1 |
| *Société des Agriculteurs de France (Bulletin de la)*. . . . . . . . . . . | 24 |
| *Société des Agriculteurs de France. Comptes Rendus des Travaux de la Session Générale Annuelle*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Société des Anciens Élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers. Bulletin Technologique* | 12 |
| *Société des Études Coloniales et Maritimes (Bulletin de la)* | 12 |
| *Société des Ingénieurs sortis de l'École Provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut (Publications de la) (Liège)* | 4 |
| *Société Forestière Française des Amis des Arbres (Bulletin de la)* | 4 |
| *Société Française de Minéralogie (Bulletin de la)* | 12 |
| *Société Française de Photographie (Bulletin de la)* | 24 |
| *Société Française de Photographie (Laboratoire d'essais de la). Mémoires et Documents* | 24 |
| *Société Française de Physique. Compte Rendu* | 24 |
| *Société Française de Physique (Séances de la)* | 4 |
| *Société Française des Ingénieurs Coloniaux (Bulletin de la)* | 4 |
| *Société Géologique de France (Bulletin de la)* | 6 |
| *Société Industrielle de l'Est (Bulletin de la)* | 1 |
| *Société Industrielle de Mulhouse (Bulletin de la)* | 12 |
| *Société Industrielle de Mulhouse. Programme des Prix* | 1 |
| *Société Industrielle de Reims (Bulletin de la)* | 1 |
| *Société Industrielle de Reims. Informations et Renseignements Commerciaux* | 12 |
| *Société Industrielle de Rouen (Bulletin de la)* | 6 |
| *Société Industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne (Bulletin de la)* | 1 |
| *Société Industrielle du Nord de la France (Bulletin de la)* | 4 |
| *Société Internationale des Électriciens (Bulletin de la)* | 12 |
| *Société Nationale d'Agriculture de France (Bulletin des Séances de la)* | 12 |
| *Société Nationale d'Agriculture de France. (Mémoires publiés par la). Séance Publique Annuelle* | 1 |
| *Société Scientifique Industrielle de Marseille (Bulletin de la)* | 4 |
| *Société Technique de l'Industrie du Gaz en France. Compte Rendu du Congrès* | 1 |
| *Société Vaudoise des Sciences Naturelles (Bulletin de la)* | 2 |
| *Spelunca. Bulletins et Mémoires de la Société de Spéléologie* | 4 |
| *Statistique Annuelle des Institutions d'Assistance* | 1 |
| *Statistique Annuelle du Mouvement de la Population* | 1 |
| *Statistique de l'Industrie Minérale et des Appareils à Vapeur en France et en Algérie* | 1 |
| *Statistique de la Navigation Intérieure* | 1 |
| *Statistique des Chemins de Fer Français (Documents Divers, 1re Partie)* | 1 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Statistique des Chemins de Fer Français (Documents Divers, 2e Partie).* . . . | 1 |
| *Statistique des Chemins de Fer Français (Documents Principaux)* . . . . . . | 1 |
| *Statistique des Grèves et des Recours à la Conciliation et à l'Arbitrage.* . . . | 1 |
| *Statistique des Houillères en France et en Belgique* . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Statistique Générale de la France* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Sucrerie Indigène et Coloniale (La)* . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Syndicat des Entrepreneurs de Travaux Publics de France (Annales du)* . . . | 24 |
| *Syndicat des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondeurs de Paris. Bulletin.* . . | 12 |
| *Syndical Professionnel des Industries Électriques. Recueil Mensuel des Procès-Verbaux des Séances de la Chambre* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Syndicats Professionnels, Industriels, Commerciaux et Agricoles (Annuaire des)* | 1 |
| *Tableau Général du Commerce et de la Navigation* . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *I. Commerce (Commerce de la France avec ses Colonies et les Puissances Étrangères).* | |
| *II. Navigation (Navigation Internationale. Cabotage Français et Effectif de la Marine Marchande).* | |
| *Touring-Club de France (Revue Mensuelle du).* . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Tout-Paris. Annuaire de la Société Parisienne.* . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Travaux Publics (Les). Journal Mensuel traitant de la Pratique de l'Art de Construire. Organe Officiel de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.* . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Travaux Techniques des Officiers du Génie de l'Armée Belge (Recueil des) (Ixelles)* | ? |
| *Tribune des Travaux Publics (La). Bulletin de la Société des Ingénieurs Auxiliaires, Sous-Ingénieurs, Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées, des Mines, des Chemins de fer et de l'Hydraulique Agricole* . . | 36 |
| *Union des Ingénieurs sortis des Écoles Spéciales de Louvain. Bulletin et Mémoires.* | 4 |
| *Union Géographique du Nord de la France (Bulletin de l').* . . . . . . . . | 4 |
| *Université de Liège. Association des Élèves des Écoles Spéciales. Bulletin Scientifique.* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Université Libre de Bruxelles. Rapport sur l'Année Académique* . . . . . . | 1 |
| *Usines Électriques (Bulletin des). Organe du Syndicat Professionnel des Usines d'Électricité* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Yacht (Le), Journal de la Marine* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Yachting Gazette. Journal de la Navigation de Plaisance* . . . . . . . . . | 52 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| **EN ALLEMAND** | |
| *Akademie der Wissenschaften (Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen) (Wien)* | 6 |
| *Annalen für Gewerbe- und Bauwesen (Berlin)* | 24 |
| *Architektur- und Ingenieurwesen (Zeitschrift für) (Hannover)* | 8 |
| *Baumaterialienkunde (Stuttgart)* | 24 |
| *Berg-Hütten-und Salinenwesen im preussischen Staate (Zeitschrift für das) (Berlin)* | 6 |
| *Dampfkessel-und Maschinenbetrieb (Zeitschrift für) (Berlin)* | 52 |
| *Gesellschaft Ehemaliger Studierender der Eidg. Polyteohnischen Schule in Zürich (Bulletin der)* | 1 |
| *Glückauf. Berg-und Huttenmännische Zeitschrift (Essen)* | 52 |
| *K. K. Central-Anstalt für Meteorologie-und Erdmagnetismus (Jahrbücher der) (Wien)* | 1 |
| *Maschinen-Konstrukteur (Der praktische) (Leipzig)* | 26 |
| *Metallurgie. Zeitschrift für die gesamte metallurgische Technik (Halle)* | 24 |
| *Niederösterreichischen Gewerbe-Vereins (Wochenschrift des) (Wien)* | 52 |
| *Oesterreichische Eisenbahn-Zeitung (Wien)* | 36 |
| *Oesterreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines (Zeitschrift des) (Wien)* | 52 |
| *Oesterreichischen Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen (Wien)* | 52 |
| *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Wiesbaden)* | 12 |
| *Repertorium der Technischen Journal-Litteratur (Berlin)* | 1 |
| *Schweizerische Bauzeitung (Zürich)* | 52 |
| *Stahl und Eisen. Zeitschrift für das Deutsche Eisenhüttenwesen (Düsseldorf)* | 24 |
| *Vereines Deutscher Ingenieure (Zeitschrift des) (Berlin)* | 52 |
| *Vereines für die Förderung des Local-und Strassenbahnwesens (Mittheilungen des) (Wien)* | 12 |
| *Zeitschrift für Bauwesen (Berlin)* | 4 |
| *Zeitschrift für Elektrotechnik. Organ des Elektrotechnischen Vereines in Wien.* | 52 |
| *Zentralblatt der Bauverwaltung (Berlin)* | 104 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| **EN ANGLAIS** | |
| *American Academy of Arts and Sciences (Proceedings of the) (Boston)* . . . . | 24 |
| *American Engineer and Railroad Journal (New-York)* . . . . . . . . . . | 12 |
| *American Institute of Electrical Engineers (Transactions of the) (New-York)* . | 12 |
| *American Institute of Mining Engineers (Transactions of the) (New-York)* . . | 1 |
| *American Railway Master Mechanics' Association (Chicago)* . . . . . . . . | 1 |
| *American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (Chicago).* | 1 |
| *American Society of Civil Engineers (Proceedings of the) (New-York)* . . . . | 12 |
| *American Society of Civil Engineers (Transactions of the) (New-York).* . . . | 2 |
| *American Society of Mechanical Engineers (Transactions of the) (New-York)* . | 1 |
| *American Society of Naval Engineers (Journal of the) (Washington).* . . . . | 4 |
| *Association of Engineering Societies (Journal of the) (Philadelphia)* . . . . . | 12 |
| *Australasian Institute of Mining Engineers (Transactions of the) (Melbourne).* | 2 |
| *Autocar (The) (London)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Automotor Journal (The) (London).* . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Boston Society of Civil Engineers. Constitution and By-Laws and List of Members* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Boston Transit Commission (Annual Report of the) (Boston)* . . . . . . . . | 1 |
| *Bureau of Steam Engineering (Annual Report of the Chief of) (Washington)* . | 1 |
| *Canadian Institute (Proceedings of the) (Toronto)* . . . . . . . . . . . | 2 |
| *Canadian Institute (Transactions of the) (Toronto)* . . . . . . . . . . | 2 |
| *Canadian Society of Civil Engineers (Transactions of the) (Montreal)* . . . . | 2 |
| *Cassier's Magazine (London)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Chinese Lighthouses (List of the) (China)* . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *City Engineer of Newton (Annual Report of the)* . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Colliery Guardian (The). Journal of the Coal and Iron Trades. (London)* . . | 52 |
| *Cornell University Register (The) (Ithaca).* . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Electrical Engineer (The) (London)* . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Electrical Review (New-York)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Electrical World and Engineer (New-York)* . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Electro-Chemist and Metallurgist (The). The Organ of the Faraday Society (London)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Engineer (The) London* | 52 |
| *Engineering (London)* | 52 |
| *Engineering and Mining Journal (The) (New-York)* | 52 |
| *Engineering Magazine (The) (New-York)* | 12 |
| *Engineering News (New-York)* | 52 |
| *Engineering Record (The) (New-York)* | 52 |
| *Engineering Review (The) (London)* | 12 |
| *Engineering Society of the School of Practical Science (Transactions of the) (Toronto)* | 1 |
| *Engineers' Club of Philadelphia (Proceedings of the) (Philadelphia)* | 4 |
| *Field Columbian Museum (Annual Report) (Chicago)* | 1 |
| *Franklin Institute (Journal of the) (Philadelphia)* | 12 |
| *Indian Engineering (Calcutta)* | 52 |
| *Institute of Marine Engineers (Annual Volume of Transactions of the) (London)* | 1 |
| *Institution of Civil Engineers (Minutes of Proceedings of the) (London)* | 4 |
| *Institution of Civil Engineers. Private Press. (London)* | 24 |
| *Institution of Civil Engineers of Ireland (Transactions of the) (Dublin)* | 1 |
| *Institution of Electrical Engineers (Journal of the) (London)* | 6 |
| *Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland (Transactions of the) (Glasgow)* | 1 |
| *Institution of Mechanical Engineers (Proceedings of the) (London)* | 4 |
| *Institution of Mining and Metallurgy (Transactions of the) (London)* | 1 |
| *Institution of Naval Architects (Transactions of the) (London)* | 1 |
| *Iron Age (The) (New-York)* | 52 |
| *Iron and Coal Trades Review (The) (London)* | 52 |
| *Iron and Steel Institute (Journal of the) (London)* | 2 |
| *Iron and Steel Magazine (The) (Boston)* | 12 |
| *John Crerar Library (Annual Report of the) (Chicago)* | 1 |
| *Junior Institution of Engineers (The) (London)* | 1 |
| *Mac Gill College and University (Annual Calendar of) (Montreal)* | 1 |
| *Manchester Steam User's Association (The) (Manchester)* | 1 |
| *Master Car Builders' Association (Chicago)* | 1 |
| *Midland Institute of Mining, Civil and Mechanical Engineers (Transactions of the) (Barnsley)* | 4 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Mineral Industry, its Statistics, Technology and Trades in the United States and other Countries (The) (New-York)* | 1 |
| *Mining Magazine (New York)* | 12 |
| *North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders (Transactions of the) (Newcastle-Upon-Tyne)* | 1 |
| *North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. Subject-Matter Index of Mining Mechanical and Metallurgical Literature (Newcastle-Upon-Tyne)* | 1 |
| *North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers (Transactions of the) (Newcastle-Upon-Tyne)* | 4 |
| *Nova Scotian Institute of Science (Proceedings and Transactions of the) (Halifax. Nova Scotia)* | 1 |
| *Publications of the Earthquake Investigation Committee in foreign Languages (Tokyo)* | 2 |
| *Public Works (London)* | 12 |
| *Railway Age (The) (Chicago)* | 52 |
| *Railway Engineer (London)* | 12 |
| *Railway Machinery (New-York City)* | 12 |
| *Report on the Subsidized Railways and other Public Works in the Province of Nova Scotia (Halifax)* | 1 |
| *Revenue Report of the Government of Bengal, Public Works Department, Irrigation Branch (Calcutta)* | 1 |
| *Scientific American (New-York)* | 52 |
| *Shanghaï Society of Engineers and Architects. Proceedings (Shanghaï)* | 1 |
| *Smithsonian Institution (Annual Report of the Board of Regents of) (Washington)* | 1 |
| *Society of Arts (Journal of the) (London)* | 52 |
| *Society of Engineers. Transactions. (London)* | 1 |
| *Street Department of City of Boston (Annual Report of the)* | 1 |
| *Street Railway Journal (The) (New-York)* | 52 |
| *Traction and Transmission (London)* | 12 |
| *Transport and Railroad Gazette (New-York)* | 52 |
| *United States Artillery (Journal of the) (Fort Monroe. Virginia)* | 6 |
| *United States Coast Geodetic Survey (Report of the Superintendent of the) (Washington)* | 1 |
| *United States Geological Survey (Annual Report of the) (Washington)* | 1 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *United States Naval Institute (Proceedings of the) (Annapolis)* | 4 |
| *Universal Directory of Railways Officials (The) (London)* | 1 |
| *University of the State of New-York (New-York State Museum. Annual Report of the Regents) (Albany)* | 1 |
| *University of the State of New-York. New-York State Museum. Bulletin (Albany)* | 12 |
| *War Department (Annual Reports of the) (Report of the Chief of Engineers) (Washington)* | 1 |
| *Western Society of Engineers (Journal of the) (Chicago)* | 6 |
| **EN DANOIS** | |
| *Ingenioren (Kjobenhavn)* | 52 |
| **EN ESPAGNOL** | |
| *Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (Boletin de la Real) (Barcelona)* | 4 |
| *Anales de la Secretaria de Communicaciones y Obras Públicas (Mexico)* | 4 |
| *Anuario de la Mineria, Metallurgia y Electricidad de España (Madrid)* | 1 |
| *Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México (Anales de la) (México)* | 1 |
| *Boletin de la Secretaria de Fomento (México)* | 12 |
| *Boletin de Minas Industria y Construcciones (Lima)* | 12 |
| *Boletin del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Peru* | 12 |
| *Boletin Industrial. Organo Oficial de la Asociación de Ingenieros Industriales (Madrid)* | 12 |
| *Industria é Invenciones (Barcelona)* | 52 |
| *Ingenieria (La). Organo Official del Centro Nacional de Ingenieros (Buenos-Aires)* | 24 |
| *Instituto de Ingenieros de Chile (Santiago)* | 12 |
| *Instituto Geológico de Mexico (Boletin del)* | 2 |
| *Junta de Obras del Puerto de Bilbao* | 1 |
| *Museo Nacional de Montevideo (Anales del)* | 4 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Observatorio Meteorológico Central de México (Boletin Mensual del)* . . . . . | 12 |
| *Revista de Obras Públicas (Madrid)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Revista Minera Metalúrgica y de Ingeniería (Madrid)* . . . . . . . . . . | 52 |
| *Revista Tecnica (Buenos-Aires)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Revista Tecnológico Industrial. Publicación Mensual de la Asociación de Ingenieros Industriales. Agrupación de Barcelona* . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Sociedad Científica « Antonio Alzate » (Memorias y Revista de la) (México)* . | 6 |
| *Sociedad Científica Argentina (Anales de la) (Buenos-Aires)* . . . . . . . . | 12 |
| **EN HOLLANDAIS** | |
| *Ingenieur (De) (Orgaan van het Kon. Instituut van Ingenieurs. — Van de Vereeniging van Delftsche Ingenieurs) (La Haye)*. . . . . . . . . . . . | 52 |
| *Koninklijk Instituut van Ingenieurs (Tidjschrift van het) (Verhandelingen) (La Haye)*. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 2 |
| **EN HONGROIS** | |
| *Magyar Mérnök-és Épitész-Egylet (A). (Heti Értesitöje) (Budapest)* . . . . . | 36 |
| *Magyar Mérnök-és Épitész-Egylet (A). (Közlönye) (Budapest)* . . . . . . . | 40 |
| **EN ITALIEN** | |
| *Accademia dei Lincei (Atti della Reale). Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti. (Roma)* . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Accademia dei Lincei (Atti della Reale). Rendiconto dell' Adunanza Solenne (Roma)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 |
| *Associazione Elettrotecnica Italiana (Atti della) (Roma)*. . . . . . . . . | 6 |
| *Associazione fra gli Utenti di Caldaie a Vapore (Milano)* . . . . . . . . . | 1 |
| *Collegio degli Ingegneri ed Architetti della Sardegna (Bollettino del)* . . . . | 4 |
| *Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Napoli (Bollettino del)*. . . . . . . | 24 |
| *Collegio degli Ingegneri e degli Architetti in Palermo (Atti del)*. . . . . . . | 2 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| *Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Palermo (Bollettino del)* | 12 |
| *Collegio Toscano degli Ingegneri ed Architetti (Atti del) (Firenze)* | 2 |
| *Giornale del Genio Civile (Roma)* | 12 |
| *Industria (L') (Milano)* | 52 |
| *Istituto d'Incoraggiamento (Atti del Reale) (Napoli)* | 1 |
| *Monitore Tecnico (Il) (Milano)* | 36 |
| *Politecnico (Il) (Milano)* | 12 |
| *Rivista di Artiglieria e Genio (Roma)* | 12 |
| *Scuola d'Applicazione pergl'Ingegneri in Roma. Annuario* | 1 |
| *Scuola d'Applicazione pergl'Ingegneri in Roma. Programmi d'Insegnamento* | 1 |
| *Società degl'Ingegneri, Architetti ed Industriali in Napoli (Processa Verbale della Tornata)* | 24 |
| *Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino (Atti della)* | 1 |
| *Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Annali della) (Roma)* | 6 |
| *Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Bullettino della) (Roma)* | 52 |
| **EN NORVÉGIEN** | |
| *Teknisk Ugeblad (Kristiania)* | 52 |
| **EN POLONAIS** | |
| *Przeglad Techniczny (Warszawa)* | 52 |
| **EN PORTUGAIS** | |
| *Observatorio do Rio de Janeiro (Annuario publicado pelo)* | 1 |
| *Observatorio do Rio de Janeiro (Boletim Mensal do)* | 2 |
| *Revista de Obras Publicas e Minas (Associação dos Engenheiros Civis Portuguezes) (Lisboa)* | 6 |
| *Rivista Militar (Rio de Janeiro)* | 10 |

| DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS | NOMBRE DE NUMÉROS par an |
|---|---|
| **EN RUSSE** | |
| *Elektritchestvo (Saint-Pétersbourg)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Elektrotekhnitcheskii Viestnike (Saint-Pétersbourg)* . . . . . . . . . . . . | 24 |
| *Ghornyi Journale (Saint-Pétersbourg)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Imperatorskagho Rousskagho Technitcheskagho Obchtchestva (Zapiski) (Saint-Pétersbourg)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| *Sobraniya Injéniérove Poutéi Soobchtchéniya (Izviéstiya) (Saint-Pétersbourg)* . | 12 |
| *Stroïteli (Saint-Pétersbourg)* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 12 |
| **EN SUÉDOIS** | |
| *Teknisk-Tidskrift (Svenska Teknologföreningen) (Stockholm)* . . . . . . . . | 52 |
| **EN TCHÈQUE** | |
| *Spolku Architektův a Inženýrů v Království Českém (Zprávy) (Praze) (Architektonicky Obzor. — Technicky Obzor)* . . . . . . . . . . . . . . . . | 52 |

*Le Secrétaire Administratif, Gérant,*

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 3614-2-05 — (Encre Lorilleux).

**MÉMOIRES**

ET

# COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

**SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE**

---

# BULLETIN

DE

FÉVRIER 1905

---

N° 2.

---

## OUVRAGES REÇUS

---

Pendant le mois de février 1905, la Société a reçu les ouvrages suivants :

### Agriculture.

KENDRICK HATT (W.). — *Progress Report on the Strength of Structural Timber* by W. Kendrick Hatt (United States Department of Agriculture. Bureau of Forestry. Circular n° 32) (in-8°, 230 × 145 de 28 p.) Washington, August, 8, 1904). (Don du United States Department of Agriculture. Bureau of Forestry). 43708

MARTIGNAT (M.). — *Le liège. Ses produits et ses sous-produits*, par M. Martignat (Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120 de 158 p. avec 20 fig.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie, 1905 (Don de l'éditeur). 43693

*Revenue Report of the Government of Bengal. Public Works Department, Irrigation Branch, for the year 1903-1904* (in-4°, 230 × 210 de 99 p.) Calcutta, Bengal Secretariat Press, 1904. 43683

### Astronomie et Météorologie.

*Annales de l'Observatoire de Nice.* Travaux exécutés sous la direction de M. Perrotin (Université de Paris. Fondation R. Bischoffsheim). *Tome VIII, 1904; tomes IX et X, 1905* (3 volumes in-4° 330×250 de xii-242 p. A-95; B-106; C-87; D-16; E-7 p. avec 2 pl. et 1 portrait de M. Perrotin; de vi-331 p. et de iv-523 p.). Paris. Gauthier-Villars, 1904, 1905 (Don de M. Bischoffsheim, M. de la S.). 43695 à 43697

### Chemins de fer et Tramways.

Périssé (S.). — *Explosion d'une locomotive aux abords de la gare Saint-Lazare à Paris. Circonstances et causes de l'accident*, par Sylvain Périssé (Extrait du Journal Le Génie Civil) (in-8° 240 × 155 de 24 p. avec 13 fig. et 2 tabl.). Paris, Publications du Journal Le Génie Civil, 1904 (Don de l'auteur, M. de la S.). 43671

Schmidt (W.). — *Mémoire sur la production de la vapeur surchauffée et son application aux locomotives système Wilhelm Schmidt. Wilhelmshöhe, près Cassel (Allemagne)* (in-4°, 320 × 240 de 33 p. avec 17 fig.). Cassel, Erneste Roettger, novembre 1904 (Don de l'auteur). 43709

*Union internationale de tramways et de chemins de fer d'intérêt local. Treizième assemblée générale. Vienne 5, 6, 7 et 8 septembre 1904. Comptes rendus détaillés* (in-4°, 330 × 205 de 408 p.). Bruxelles, Tr. Rein. 43679

### Éclairage.

Bouvier (A.). — *L'usine à gaz de Darmstadt* (Extrait du Compte rendu du trente et unième Congrès de la Société technique de l'Industrie du gaz en France tenu à Paris les 14, 15, 16 et 17 juin 1904) (in-8°, 240 × 160 de 14 p. avec 6 pl.). Paris, P. Mouillot, 1904. (Don de l'auteur, M. de la S.). 43680

### Économie politique et sociale.

*Annuaire Chaix. Les principales Sociétés par actions. Compagnies de chemins de fer. Institutions de crédit. Banques. Sociétés minières, de transport, industrielles. Compagnies d'assurances, etc. Quatorzième année 1905* (in-18, 180 × 115 de xiv-650 p.). Paris, Chaix, 1905. 43692

*Bulletin de la Société d'Économie politique* (Suite des Annales). Publié sous la direction du Secrétaire perpétuel. *Année 1904* (in-8°, 255 × 165 de 228 p.). Paris, Guillaumin et Cie. 43689

### Électricité.

Gérard (L.). — *Description de l'installation d'épuration électrique des eaux à Ginneken (Breda)*, par Léon Gérard (in-8°, 245 × 160 de 27 p. avec 4 fig.). Bruxelles, F. Vanbuggenhoudt, 1905 (Don de M. le Commandant Simon). 43710

SARTORI (G.) et MONTPELLIER (J.-A.). — *La technique des courants alternatifs, à l'usage des électriciens et des ingénieurs*, par Giuseppe Sartori. Traduit de l'italien par J.-A. Montpellier. *Tome second. Développement et calculs pratiques relatifs aux phénomènes du courant alternatif* (in-8°, 255 × 165 de VII-634 p. avec 287 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43702

### Géologie et sciences naturelles diverses.

GRANDERYE (L.-M.). — *Détermination des espèces minérales*, par L.-M. Granderye (Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120 de 184 p.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie, 1905 (Don de l'éditeur). 43694

### Législation.

*Association amicale des Élèves de l'École Nationale supérieure des Mines. 40e Annuaire arrêté au 1er novembre 1904 (1904-1905)* (in-8°, 235 × 160 de 232 p.). Paris, Siège social. 43706

*Société Belge d'Électriciens. Statuts. Conseil supérieur. Conseil général. Comité. Liste des Membres. Tarif des annonces. Exercice 1905* (in-8°, 245 × 160 de 32 p.), Bruxelles, Hôtel Ravenstein. 43682

### Métallurgie et Mines.

*Anuario de la Mineria, Metalurgia y Electricidad de España*, con una seccion de Industrias quimicas, publicado por la Revista minera, metallurgia y de Ingenieria bajó la dirección de Don Adriano Contreras. *Año décimo 1903-1904* (in-8°, 230 × 155 de 680-XXVIII p.). Madrid, E. Teodoro, 1904. 43705

*Comité central des houillères de France. Annuaire. Dixième année 1904* (in-8°, 215 × 135 de 651-90 p. avec cartes). Paris, 55, rue de Châteaudun, 1904. 43704

FAUCHER (H.) et LEJEUNE (P.). — *Note sur l'application des machines frigorifiques au séchage de l'air soufflé dans les hauts fourneaux (Procédé James Gayley)* (Extrait du Journal La Glace et les Industries du Froid. Janvier 1905) (in-8°, 215 × 135 de 13 p. et 3 fig.). Paris, E. Bernard, 1905 (Don de M. H. Faucher, M. de la S.). 43688

*Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Twelfth session 1902-1903. Vol. XII* (in-8°, 215 × 140 de VIII-520 p. avec 41 pl.). London, E. and F. N. Spon. 43686

### Navigation aérienne, intérieure et maritime.

CLERC-RAMPAL (G.). — *De l'utilité de la marine de plaisance pour le développement de la puissance maritime.* Mémoire primé au concours de la Marine de plaisance (Prix Glandaz) organisé par la Ligue maritime française (in-8°, 245 × 155 de 32 p.). Paris, Journal de la Marine Le Yacht, 1905 (Don de l'éditeur). 43681

LAVOINNE, VIDAL et HERZOG. — *Ports maritimes de la France. Notice sur le port de Dieppe*, par M. Lavoinne, revue et mise à jour, par MM. Vidal et Herzog (Ministère des Travaux publics) (in-8°, 275 × 180 de 115 p. avec 14 fig. et 1 pl.). Paris, Imprimerie nationale, 1903 (Don du Ministère des Travaux publics). 43685

MAS (F.-B. DE). — *Cours de navigation intérieure de l'École nationale des Ponts et Chaussées. Rivières à courant libre*, par F.-B. de Mas. Introduction. État naturel des cours d'eau. Opérations et observations pour l'étude des cours d'eau et de leur régime. Matériel et procédés de la navigation fluviale. Premières améliorations. Travaux contre les inondations. Régularisation des fleuves et rivières. Exploitation. Annexes (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de XVI-480 p. avec XLVIII pl. et 49 fig.). Paris, Baudry et C[ie], 1899 (Don de M. Ch. Béranger, éditeur). 43675

MAS (F.-B. DE). — *Cours de navigation intérieure de l'École nationale des Ponts et Chaussées. Rivières canalisées*, par F.-B. de Mas. Généralités. Barrages autres que les barrages mobiles. Barrages mobiles à fermettes. Barrages mobiles à pont supérieur. Barrages mobiles à hausses. Barrages mobiles à tambour. Règles à suivre pour l'établissement d'une retenue d'eau au moyen d'un barrage mobile. Écluses à sas. Portes d'écluses. Emplacement, abords et accessoires des écluses. Exploitation (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de X-505 p. avec LXXXV pl. et 91 fig.). Paris, Ch. Béranger, 1903 (Don de l'éditeur). 43676

POKORNY (F.). — *Ascenseur pour bateaux et navires, système Pokorny* représenté par l'inventeur et possesseur des brevets d'invention, Ferdinand Pokorny, Inspecteur des Mines à Moravská Ostrava, Autriche (in-4°, 285 × 190 de 35 p. avec 2 pl.), Moravská Ostrava, Ferdinand Pokorny, 1904 (Don de M. le D[r] Jan Dezort). 43693

*Report of the Superintendent of the Coast and Geodetic Survey, showing the progress of the work from July 1, 1903 to June 30, 1904* (in-8°, 240 × 230 de 774 p.). Washington, Government Printing Office. 1904. 43674

**Périodiques divers.**

*Annuaire des Journaux, Revues et Publications périodiques parus à Paris jusqu'en novembre 1903*, suivi d'une table systématique et du tarif postal pour la France et l'étranger, publié par Henri Le Soudier. *24e année et Supplément à l'Annuaire des Journaux, Revues et Publications périodiques publiés à Paris jusqu'en novembre 1904* (2 brochures in-8°, 230 × 145 de 364 p. et de 96 p.). Paris, H. Le Soudier, 1904, 1905. 43690 et 43691

## Physique.

CLAUDE (G.). — *Causeries sur le radium et les nouvelles radiations*, par Georges Claude. *Télégraphie sans fils. Rayons cathodiques. Rayons X. Haute fréquence* (Extrait de la 5e édition de l'Electricité à la portée de tout le monde et remanié) (in-8°, 253 × 165 de 132 p. avec 44 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43701

MIETHE. — *Die geschichtliche Entwicklung der farbigen Photographie.* Rede zur Feier des Geburtstages Seiner Majestät des Kaisers und Königs Wilhelm II, in der Halle der Königlichen Technischen Hochschule in Berlin am 26. Januar 1905, gehalten von dem zeitigen Rektor Miethe (in-8°, 270 × 190 de 15 p.). Berlin, Denter und Nicolas. 43711

## Sciences mathématiques.

MARTENS (A.) et BREUIL (P.). — *Traité des Essais des matériaux destinés à la construction des machines. Méthodes, machines, instruments de mesure*, par le professeur A. Martens. Traduit de l'allemand avec Notes et Annexes, par Pierre Breuil (in-8°, 250 × 165 de 671 p. avec 558 fig. et atlas 250 × 175 de 31 pl.) (Encyclopédie industrielle fondée par M.-C. Lechalas). Paris, Gauthier-Villars, 1901 (Don de l'éditeur). 43677 et 43678

## Sciences morales. — Divers.

*Compte rendu de l'Excursion de la Société dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais et à l'Exposition d'Arras du 9 au 12 juin 1904.* (Mémoires et Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs Civils de France. Bulletin d'août et de septembre 1904) (in-8°, 250 × 160 de 215 p. avec 8 pl.). Paris, 19, rue Blanche. 43707

## Technologie générale.

*Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, showing the operations, expenditures, and condition of the Institution for the year ending June 30, 1903* (in-8°, 230 × 145 de LXI-876 p. avec illustrations). Washington, Government Printing Office, 1904. 43698

*Index to the Journal of the Franklin Institute (Including the Franklin Journal) for the one hundred and twenty volumes from 1826 to 1885.* Arranged according to subjects and authors (in-8°, 245 × 155 de 416 p.). Philadelphia, Published by the Institute, 1890. 43672

*Index to the Journal of the Franklin Institute for the twenty volumes from 1886 to 1895* (Supplementing the Index to the first 120 volumes from 1826 to 1885). Arranged according to subjects and authors (in-8°, 245 × 155 de 74 p.). Philadelphia, Published by the Institute, 1896. 43673

LOMBARD (J.). — ***Manuel de l'ouvrier tourneur et fileteur***, par Joanny Lombard (in-8°, 215 × 140 de 219 p. avec 156 fig.). Paris, V^ve^ Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43700

OLOF LINDERS. — ***Die Formelzeichen. Ein Beitrag zur Lösung der Frage der algebraischen Beizeichnung der physikalischen, technischen und chemischen Grössen***, von Olof Linders (in-8°, 275 × 175 de 96 p.). Leipzig, Jäh und Schunke, 1905 (Don de l'éditeur). 43684

**Travaux publics.**

*Annales des Ponts et Chaussées. 1^re^ partie. Mémoires et documents. 74^e^ année. 8^e^ série. Tome XVI. 1904. 4^e^ trimestre* (in-8°, 255 × 165 de 347 p. avec pl. 20 à 22). Paris, E. Bernard. 43703

MAHIELS (A.). — *Quelques Notes pratiques sur l'épuration bactérienne.* Communication faite au Comité d'Études le 15 novembre 1904, par Armand Mahiels (Société Belge des Ingénieurs et des Industriels) (in-8°, 240 × 155 de 45 p.). Bruxelles, A. Lesigne, 1904 (Don de la Société Belge des Ingénieurs et des Industriels). 43687

# MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de février 1903, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

H.-P. Barrès, présenté par MM. Hallier, Massalski, Richou.
M. Bideau, — Bardolle, Bonnaud, Hugot.
E.-E. Blin, — Hospitalier, Marillier, Robelet.
P.-P.-J. Brocard, — Bellenger, Cottavoz, Gouguet de Girac.
H.-P.-E. Charpentier, — Boudenoot, Brüll, de Gennes.
A. Coste, — Arbel, Hallier, Richou.
F.-L.-A. Cuchet, — Aurientis, Blache, L. Chambon.
G.-F. Desjacques, — Hospitalier, Marillier, Robelet.
J.-F. Desplats, — Berlier, Desombre, Schwarberg.
M.-F. Garrido, — J. Giraud, Laran, de Dax.
A. Guerra Romero — Coiseau, Couriot, de Dax.
A-Ch. Henry, — P. Escande, Ferré, Godfernaux.
H. Janson, — Cartier, A. Henry, A.-A. Thomas.
E. Jullien, — Duvignaud, Orsatti, Soreau.
H.-F.-J. Laborbe, — Coiseau, Pontzen, J. Pillet.
H. Lasserre, — Coiseau, Allard, A. Couvreux.
A.-L. Leleu, — Clerc, Gouvy, Thiry.
E.-J. Louche, — L. Appert, Bauchère, L. Monnier.
F.-G. Marcel, — Harlé, de Mestral, Raffard.
A.-A.-M. Massenet, — P. Buquet, E. Collin, Ferré.
M.-P. Meyer, — Hillairet, Desroziers, Huguet,
A. Nanquette, — Boileau, Chauveau, L. Périssé.
L.-J.-J. Renard, — Couriot, J. Artus, A. Artus.
A. Sauvaget, — Moreau, Chagnaud, Taupiat de Saint-Simeux.
G.-A. Somme, — Gouvy, Gouguet de Girac, Thiry.

Comme Membre Associé, MM. :

C.-E. Patard, présenté par MM. Audemar, Bolle-Besson, Ed. Simon.

# RÉSUMÉ

DES

# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE FÉVRIER 1905

---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 3 FÉVRIER 1905

Présidence de M. L. Coiseau, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédonte séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

Ph. Goldschmidt, Membre de la Société depuis 1867, Ingénieur civil, docteur en chimie;

B. Pétot, Membre de la Société depuis 1896, Ingénieur métallurgiste, sous-directeur de la Compagnie générale des conduites d'eau;

A.-H. Salvetat, ancien Élève de l'Ecole Centrale (1866), Membre de la Société depuis 1882, Ingénieur aux mines de Lens;

G.-E. Vian, Membre de la Société depuis 1883, Chevalier de la Légion d'Honneur, ancien Député et Administrateur-délégué de la Société Centrale de Dynamite, Directeur du Bureau technique national des explosifs;

E.-F.-E. Vivez, Membre de la Société depuis 1899, constructeur-mécanicien, propriétaire des établissements « Air et Feu » ;

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir de faire connaître les nominations suivantes :

Ont été nommés :

Vice-Président de la Chambre de Commerce de Paris : M. H. Garnier;

Secrétaire de la Chambre de Commerce de Paris : M. Ed. Michaud;

Membres de la Chambre de Commerce de Paris : MM. A. Bricard, A. Dufrêne, L. Lemoine, P. Mallet, A. Marsaux, G. Salmon;

Président de la Chambre de Commerce Française de Portugal : M. M. Douau.

M. H. Faucher a été nommé Officier de l'ordre du Dragon de l'Annam.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains Bulletins.

Un Congrès international du pétrole sera tenu à Liège, sous le haut patronage du Gouvernement belge, du 26 juin au 1er juillet 1905.

Notre ancien Président, M. E. Lippmann, Président de la Commission permanente de ces Congrès depuis 1900, nous a adressé le règlement de ce Congrès. Ces documents sont déposés au Secrétariat.

M. le Président rappelle que dans la séance de ce jour il doit être procédé à la nomination de trois Membres du Jury du Prix Alphonse Couvreux à décerner cette année.

Sont nommés : MM. G. Richard, A. Couvreux et L. Chagnaud.

M. G. Courtois a la parole pour sa communication sur *Les Grandes Constructions américaines*.

M. G. Courtois montre d'abord les raisons qui ont amené logiquement les Américains à construire ces énormes bâtisses. La principale réside dans le prix très élevé du terrain dans le quartier des affaires des grandes villes. C'est ce qui les a conduits à gagner en hauteur ce qu'ils ne pouvaient avoir en surface.

Mais de cette sorte, il s'est posé une série de problèmes qui ne se rencontrent pas dans les constructions ordinaires et qui ont exigé des solutions spéciales. Une architecture nouvelle était à créer. Ce sont ces problèmes et leurs diverses solutions qui font l'objet de cette communication.

La construction en pierre étant, dès le début, forcément rejetée comme trop lourde, trop encombrante et trop longue à édifier, a été remplacée par la construction à ossature métallique avec revêtements et remplissages en substances diverses, pierre, brique, terre cuite, grès, etc. Les points d'appuis sur le sol, ayant à porter la charge énorme de vingt à trente étages, ont dû reposer sur des fondations dont l'étude est des plus importantes. M. Courtois montre différents modes de ces fondations et indique les précautions minutieuses prises par les constructeurs et imposées par les règlements, en même temps que la hardiesse qu'ont souvent montrée ces constructeurs dans différents cas.

M. Courtois décrit sommairement l'organisation d'un chantier pendant la période de construction et passe ensuite à l'étude de la carcasse métallique formant l'ossature de tout le bâtiment. Il passe en revue les divers types de colonnes adoptés et donne des détails sur leur emploi ainsi que sur les avantages qui, suivant les cas, font préférer les uns aux autres.

Il mentionne les précautions prescrites par les règlements relativement à la résistance au feu et à l'écrasement et tous les essais imposés aux constructeurs pour les parties importantes de leurs édifices.

Il montre comment, grâce à ce genre de construction, on a pu arriver à une rapidité d'exécution telle qu'un édifice comme le Fischer Building, à Chicago, qui comprend seize étages au-dessus du rez-de-chaussée, a pu être entièrement terminé en six mois et demi, et fait passer sous les yeux de ses Collègues des projections de ce monument à diverses époques de sa construction.

Il passe ensuite aux questions d'aménagements intérieurs et décrit en particulier les installations d'eau froide et d'eau chaude, et les systèmes de chauffage et de ventilation dans l'un des plus importants de ces édifices, l'Astoria-Hotel, à New-York, où le programme à remplir était rendu particulièrement difficile par suite de la diversité des services à satisfaire et dont le chauffage et la ventilation n'ont pas coûté moins de 6 875 000 f à installer. M. Courtois projette ensuite des façades et plans de différents monuments, en insistant sur le rôle prépondérant que jouent les ascenseurs dans de semblables bâtisses dont quelques-unes en possèdent jusqu'à seize.

Passant à l'aspect extérieur, M. Courtois montre comment peu à peu les architectes américains ont su perfectionner leurs façades qui, d'insignifiantes au début, sont maintenant arrivées à offrir un véritable intérêt, comme celle de la Manhattan-Life de New-York.

Il termine en faisant remarquer que, même en Amérique, des doutes existent sur l'avenir de ces grandes constructions et que des objections se sont élevées relativement au danger, pour la santé publique, de la généralisation de ces édifices.

Malgré cela, il était intéressant de les signaler et d'en faire remarquer l'extrême hardiesse qui fait grand honneur aux ingénieurs et architectes qui les ont conçus.

M. le Président remercie M. Courtois de l'intéressante conférence qu'il vient de faire. Il remarque que les Américains ne semblent pas attacher d'importance à la pourriture possible des pieux en bois. M. Courtois a fait observer à ce sujet que ces pieux étaient généralement arasés au-dessous de l'eau et se remplaçaient maintenant par des pieux en tôle remplis de béton.

Il rappelle que malgré les précautions prises contre les incendies, les intérieurs d'une douzaine de maisons de ce genre ont été détruits dans l'incendie de l'année dernière, à Baltimore.

A cette occasion on a remarqué que seules les maisons construites en béton armé ont résisté à l'incendie, tandis que les façades en granit, en calcaire sont tombées en ruines; celles en grès ont un peu mieux résisté.

M. A. Perot a la parole pour sa communication sur *le Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers.*

M. A. Perot rappelle que le Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers a été créé par un décret du 19 mai 1900, organisé par une loi et un décret en date du 9 juillet 1901, à la suite d'une convention passée le 13 juin 1901 entre M. le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, le Conservatoire national des Arts et Métiers et la Chambre de Commerce de Paris qui a gagé l'emprunt qui a permis de réaliser l'œuvre projetée.

Le but du Laboratoire est de permettre aux industriels, commerçants et particuliers, de soumettre des produits bruts ou manufacturés de toute nature, des machines et des appareils, aux essais, études et recherches nécessaires pour les qualifier. Sa compétence actuelle comprend :

Le domaine général de la physique moins l'électricité;

Les métaux;

Les chaux, ciments, pierres, etc.;

Les autres matériaux de construction, notamment les bois;

Les machines autres que les machines électriques et tous leurs accessoires;

Les matières premières végétales nouvelles ou insuffisamment connues;

Les combustibles, les huiles de graissage, les huiles, essences et alcools d'éclairage.

Outre l'électricité, toutes les opérations chimiques proprement dites, consistant en analyses isolées, qui ne sont ni la base, ni le complément d'autres essais, sont restées en dehors des attributions du Laboratoire. Cette résolution a été inspirée par la Chambre de Commerce de Paris, quoique le titre du Laboratoire contienne le vocable : essais chimiques.

A la suite d'un accord entre les administrations intéressées, il a été entendu que la clientèle industrielle, commerciale et particulière est intégralement réservée au Laboratoire du Conservatoire. Les essais relatifs aux travaux publics sont faits, comme par le passé, au Laboratoire des Ponts et Chaussées, cet établissement se bornant à accueillir les demandes qui se rattachent à l'intérêt général des travaux publics. ou à l'alimentation des villes en eau potable.

Le personnel comprend actuellement quarante-sept agents.

Les diverses attributions indiquées ci-dessus ont été réparties entre cinq sections, dont le rôle et l'outillage sont les suivants :

Section I : *Essais physiques*. — Les opérations principales sont : déterminations, étalonnages et contrôles relatifs aux mesures et aux instruments de mesure, de longueur, angle, polymétrie chimique, poids, densité des liquides, alcoométrie, pression, température (thermomètres médicaux), dilatation, pouvoir calorifique, acoustique (diapasons), photométrie, optique géométrique (objectifs photographiques), saccharimétrie.

On peut signaler parmi les principaux appareils : sept comparateurs pour étalons à trait et à bouts, interféromètre, goniomètre, appareil pour la vérification des sextants, balances de haute précision, manomètre nouveau à colonnes multiples, neuf appareils à thermomètres, potentiomètre et boite de résistance, focomètres, appareils d'essai des objectifs photographiques, polarimètre, etc.

Section II : *Essais des métaux*. — Les principales opérations sont : essais de métaux à la traction, compression, torsion, cisaillage, poinçonnage, pliage, choc, dureté, frottement, essais micrographiques, de travail des métaux à chaud; essais des câbles (câbles métalliques et câbles de mines), des huiles, des tuyaux et récipients, des bois, etc.

Il y a d'intéressantes machines à signaler, notamment : une grande machine universelle de 300 t permettant des tractions et compressions sur pièces de 25 m de longueur et 1 m d'équarrissage, à la flexion des poutres de 6 m de longueur, de poinçonner et de cisailler des métaux de 60 mm d'épaisseur, de tordre des éprouvettes de 1 m de longueur sur 60 mm d'équarrissage; cinq machines de traction et compression dont une pour efforts rythmés, des dynamomètres, machines de torsion, deux presses dont une de 500 t, cisailleuse, une machine à essayer les huiles et les métaux au frottement, un mouton universel, un accumulateur hydraulique, des fours électriques et à gaz, un microscope, etc.

Section III : *Essais des matériaux de construction.* — Les opérations les plus fréquentes sont : essais de fabrication de chaux et ciments, essais des chaux, ciments, plâtres, etc.; essais des pierres, briques, tuiles, carreaux céramiques à la compression, à l'usure, à la gélivité, etc., essais chimiques.

Cette section a comme matériel principal : fours de cuisson, pilerie, broyeurs, bluterie, délayeurs, malaxeurs, tamiseuses, pilerie, etc., pour la fabrication des chaux, ciments et briques; machine frigorifique à acide carbonique, presses d'essai, machine de traction pour les ciments et mortiers, machines à user, étuves, microscopes et outillage pour la fabrication des plaques minces.

Section IV. — L'objet de cette section est : les essais des appareils à vapeur, calorifuges, gazogènes, moteurs de toute nature, à pétrole, à gaz, etc., de machines hydrauliques, pompes, turbines, compteurs d'eau, des appareils fondés sur la pression des gaz, études et essais de mécanismes et de transmissions, essais de véhicules automobiles dans toutes leurs parties.

Le matériel qui y est affecté se compose : de freins mécaniques et électriques, d'un appareil dynamométrique pour l'essai des voitures à la jante, de moteurs fixes et mobiles à gaz et à pétrole, d'un compresseur d'air, d'une machine à vapeur, d'une chaudière et un surchauffeur, des appareils de tarage des compteurs à eau et à gaz, d'un ensemble comprenant une citerne, un canal de fuite avec déversoir pour l'essai des pompes, gros compteurs, etc.

Section V. — L'objet en est les recherches et essais sur les matières grasses nouvelles, les caoutchoucs, textiles nouveaux, bois nouveaux et ordinaires de construction, les combustibles liquides, les caoutchoucs bruts ou manufacturés, soumis aux essais de la section II.

Elle a, dans ce but, l'outillage complet d'un laboratoire de chimie végétale, de micrographie et de microchimie, une installation de photo et microphotographie, les appareils presses, cylindres, déchiqueteurs, etc., nécessaires à la fabrication du caoutchouc, des appareils d'extraction des graisses et des essences.

M. Perot expose rapidement les résultats que le Laboratoire a obtenus jusqu'à ce jour et indique comment sont réglés les rapports des industriels avec le Laboratoire. Il termine en remerciant la Société de la subvention qu'elle a allouée tous les ans au Laboratoire depuis sa fon-

dation et qui est un témoignage précieux de l'intérêt que celle-ci porte à l'œuvre nouvelle.

M. le Président remercie M. Perot de sa communication qui a vivement intéressé la Société; elle fera connaître un peu mieux la belle installation du Laboratoire dont il espère que M. Perot pourra communiquer une autre fois les résultats intéressants.

M. Perot répond qu'il sera toujours heureux d'exposer les recherches qui auront été faites et que, dès maintenant, il se met à la disposition de la Société pour montrer les installations du Laboratoire dans une visite qui pourrait être organisée.

M. le Président dit qu'il en prend bonne note et consultera le bureau pour décider quand cette visite pourra avoir lieu. Il remercie M. Perot de son offre gracieuse.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. E.-E. Blin, P.-P.-J. Brocard, F.-L.-A. Cuchet, G.-F. Desjacques, J.-F. Desplats, A.-L. Leleu, A. Nanquette, G.-F. Somme, H. Lasserre, A. Sauvaget comme Membres Sociétaires Titulaires, et
M. C.-E. Patard, comme Membre Associé.

MM. H.-P. Barrès, M. Bideau, H.-P.-E. Charpentier, A. Coste, M.-F. Garrido, A. Guerra Romero, Ch.-A. Henry, H. Janson. E. Jullien, H.-F.-J. Laborde, E.-J. Louche, F.-G. Marcel, A.-A.-L. Massenet, P.-M. Meyer, L.-J.-J. Renard sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires.

**La séance est levée à 11 heures.**

*L'un des Secrétaires Techniques,*
J. Deschamps.

# PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 17 FÉVRIER 1905

PRÉSIDENCE DE M. L. COISEAU, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente seance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM. :

A. Sans y Garcia, Membre de la Société depuis 1881, ancien Président de l'Association des Ingénieurs Industriels de Barcelone, chef de l'Exploitation de la Compagnie des Chemins de fer de Medina à Zamora, et de Orense à Vigo;

H.-P.-E. Walther-Meunier, ancien Élève de l'École Centrale (1860), Membre de la Société depuis 1878, Ingénieur en chef de l'Association Alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur.

M. LE PRÉSIDENT adresse, aux familles de ces Collègues, l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer que M. Louis Monnier a été nommé officier d'Académie.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître qu'à l'occasion de l'inauguration du percement du Simplon aura lieu, en 1906, sous le haut patronage de S. M. le roi d'Italie, à Milan, une Exposition internationale.

Les premiers documents relatifs à cette Exposition sont déposés à la bibliothèque.

Une Exposition Industrielle doit avoir également lieu, de mai à août 1905, à Orléans. Les documents relatifs à cette Exposition sont déposés à la bibliothèque.

M. E. BIARD a la parole pour sa communication sur *la Capacité des wagons à marchandises*.

M. E. BIARD, après avoir mentionné quelques travaux antérieurs ayant donné lieu à des publications dans le Bulletin de la Société, rappelle que cette question a déjà été posée deux fois au Congrès International des Chemins de fer (en 1889 et en 1900); les conclusions formulées à la dernière session étaient en principe favorables à l'augmentation de la capacité des wagons à marchandises. L'évolution, constatée alors sur la plupart des réseaux, s'est accusée depuis 1900. M. Biard se propose d'exposer dans quelles conditions et quelles limites elle s'est produite en considérant plus spécialement les États-Unis (matériel de *très grande capacité*), la Grande-Bretagne *(petite capacité)*, l'Allemagne et la France (wagons de *moyenne capacité*).

M. Biard dit qu'il devra se borner à considérer les wagons de *types courants*, affectés au trafic général, qui comprennent trois grandes catégories : wagons *couverts*, *découverts* et *plats*, en laissant de côté les wagons destinés à des transports tout à fait spéciaux, pour lesquels la question de la capacité est une question d'espèce.

Les trois éléments de la capacité sont le *tonnage* du véhicule, le *volume* de la caisse, la *surface* du plancher. Ces éléments sont à considérer isolément, ou concurremment, suivant qu'il s'agit de l'un ou l'autre des trois types de wagons, couverts, découverts et plats et selon la nature des transports envisagés.

Pour obtenir une grande capacité, en tonnage, en volume ou en surface, on est conduit à une forte *charge par essieu* ou à une *grande longueur* du véhicule, quelquefois à ces deux conséquences simultanément, d'où résulte, au delà de certaines limites, la nécessité d'abandonner le type de wagon à *essieux indépendants* (deux ou trois essieux) pour adopter la construction sur *bogies* (quatre essieux).

M. Biard considère d'abord les États-Unis. Il fait un court historique de l'augmentation de la capacité des wagons dans ce pays. La construction sur bogies, qui a été de longue date la caractéristique du matériel américain, a permis d'élever progressivement le tonnage jusqu'à des limites inconnues dans les autres pays. M. Biard rappelle les étapes de cette rapide progression depuis le matériel des premières lignes construites jusqu'au wagon de 60 000 lbs (27,2 t) qui a été, en 1885, adopté comme « Standard » par l'Association des Master Car Builder's, jusqu'aux types plus récents (parus en 1897-1898) de 80 000 lbs, 100 000 lbs et 110 000 lbs (36,9 t, 45,3 t et 50 t métriques).

Le mode de construction et le choix des matériaux employés se sont modifiés en même temps que la capacité s'accroissait. Les bogies sont plus robustes et sont maintenant, en général, complètement métalliques. Le bois exclusivement employé à l'origine pour la construction de la caisse a fait place au fer ou à l'acier. Les premiers wagons entièrement métalliques (tôles et profilés) remontent à 1893 et se sont développés surtout à partir de l'année 1897 ; l'emploi des tôles embouties, introduit en Amérique par Fox, permit de réaliser de nouveaux progrès par une réduction sensible du poids mort. Les Chemins américains possèdent actuellement plus de 100 000 véhicules de construction entièrement métallique.

Les circonstances qui ont favorisé ou développé l'emploi du matériel de grande capacité sont le développement énorme et rapide du réseau américain et la concurrence effrénée entre les Compagnies rivales produisant un abaissement excessif des tarifs. De nouvelles méthodes s'imposaient; deux mesures capitales ont été adoptées : réduction du poids mort des wagons par rapport à la charge utile par l'augmentation de leur capacité; augmentation de la puissance des locomotives. Les conditions industrielles et économiques de l'Amérique se prêtaient merveilleusement à assurer l'efficacité de ces mesures en permettant un mode d'exploitation par trains très lourds, franchissant d'énormes distances sans rompre charge.

Cette augmentation de la capacité n'a cependant été possible que

grâce à des mesures et des dépenses relativement considérables : renforcement de la voie et des ouvrages d'art, rectifications de profils, remaniements d'installations de gares, engins de pesage, etc., application, au matériel même, de dispositions nouvelles, frein continu, attelages à friction, etc.

M. Biard termine cet exposé de la situation du matériel à marchandises américain par un aperçu des avantages réalisés aux États-Unis :

Diminution du poids mort par rapport à la charge utile ;

Réduction des frais de premier établissement et d'entretien du matériel ;

Diminution des frais de traction ;

Encombrement moindre des voies de circulation et de manœuvre ;

Augmentation de débit des lignes.

En résumé, ces avantages ont contribué, pour une grande part, avec ceux dus à l'augmentation de puissance du matériel de traction, à améliorer, dans ces dernières années, la situation financière de beaucoup des Compagnies américaines.

Passant ensuite à la Grande-Bretagne, dont le matériel de petite vitesse s'est distingué jusqu'alors par sa petite capacité, M. Biard attribue cet état de choses à trois causes principales : 1° usages commerciaux du pays ; 2° difficultés de remanier sans frais considérables les installations existantes en vue de les approprier à un matériel de transport plus puissant ; 3° proportion considérable (500 000 sur 1 100 000) des wagons, appartenant à des particuliers, utilisés par les Chemins anglais.

Toutefois, il s'est produit depuis peu un courant d'opinion en faveur d'essais de matériel de plus grande capacité. M. Biard cite les principales applications faites jusqu'à ce jour de wagons de 20 t à deux essieux ou de matériel à bogies (Caledonian Railway, North Eastern Railway, etc.).

Pour l'Allemagne, M. Biard retrace l'historique de l'évolution du matériel allemand ; après la substitution (en 1891) du wagon « normal » de 15 t à celui de 10 t, les Administrations allemandes semblent avoir marqué un temps d'arrêt prolongé. Des essais de matériel de grande capacité entrepris en 1891 et 1899 par les Directions de Cologne et d'Essen de l'Etat Prussien furent infructueux. De nouvelles tentatives ont été reprises depuis 1903, non seulement par l'État Prussien, mais aussi par diverses Administrations de l'Empire (Alsace-Lorraine, États de Bade, de Saxe, de Bavière).

Enfin passant aux Chemins français, M. Biard fait, comme pour les autres pays, un bref historique de la transformation de la capacité des wagons français. Les wagons de tonnage inférieur à 10 t n'entrent maintenant que pour une faible proportion dans l'effectif actuel. C'est le wagon de 10 t qui pendant de longues années a été presque exclusivement construit ; il correspondait d'ailleurs très bien à l'unité commerciale usuelle.

En 1879, le tonnage de 15 t, favorisé par le développement des châssis métalliques, fait une première apparition, d'abord sur trois essieux (wagons plats de la Compagnie de l'Est), puis sur deux essieux (wagons plats du P.-L.-M. en 1882). Depuis cette époque, de nombreuses appli-

cations de ce tonnage ont été effectuées, soit par transformation de véhicules existants de moindre tonnage, soit par construction de matériel neuf. L'effectif actuel des wagons de types courants des Compagnies françaises comprend un sixième de l'ensemble en wagons de 15 t, correspondant à un cinquième du tonnage offert.

L'étape la plus importante a été franchie en France par la création, depuis 1897, du matériel de 20 t à deux essieux, représenté déjà actuellement par près de 20 000 unités; le Nord, en raison de son trafic important de houilles, est entré très largement dans cette voie (près de 12 000 wagons de 20 t), l'Est en possède également près de 4 000. Ces nombres croîtront vraisemblablement encore.

La capacité des wagons particuliers immatriculés par les Compagnies françaises a également suivi une marche ascendante bien prononcée depuis quelque temps. Le tonnage *moyen* des wagons particuliers admis à circuler par la Compagnie de l'Est est très voisin de 14 t.

Le matériel à marchandises à bogies a reçu également en France des applications relativement importantes et déjà anciennes (311 wagons plateformes Nord de 25 t 1887-1893, 77 wagons plats Est de 30 t de la même époque, 100 wagons tombereaux P.-L.-M. de 30 t).

Depuis l'application du tonnage de 20 t au matériel à deux essieux, il semble établi que le tonnage de 40 t au moins doit être atteint pour que le matériel à bogies présente quelque avantage sur le matériel de 20 t. C'est ce tonnage de 40 t que la Compagnie du Nord a adopté pour la construction de 40 wagons tombereaux et 170 wagons plates-formes. Ces wagons sont entièrement en tôles d'acier embouti et construits par les Forges de Douai. En raison de leur tare relativement légère (à peine 14 t), la Compagnie du Nord compte utiliser avec avantage les tombereaux de 40 t dans des trains de houille de service direct entre les mines et Paris. La Compagnie de l'Est adopte le même tonnage de 40 t pour un lot de 100 wagons plateformes en cours de construction.

M. Biard ajoute à cet exposé relatif à la France quelques considérations sur l'avenir des wagons de très grande capacité en France. Sur les grands réseaux, en même temps que l'application de tonnages moyens sera encore longtemps justifiée pour certaines catégories de véhicules, l'emploi de très grands wagons sera susceptible de s'étendre toutes les fois que pourront être réalisées les conditions qui en ont favorisé l'usage en Amérique : courants directs de transport desservis soit par des trains lourds à grande distance, soit par des services réguliers à plus faible distance. Pour les wagons particuliers, la très grande capacité pourra offrir certains avantages d'ordre technique, réduction du poids mort, moindre encombrement des voies; mais ce sont surtout les avantages commerciaux résultant de clauses particulières des tarifs applicables sous certaines conditions aux wagons considérés (tarifs spéciaux Nord, Est, et communs. Nord et Est, pour houille et minerai) qui seront susceptibles de provoquer leur développement au profit commun des transporteurs et des expéditeurs ou destinataires.

M. Biard termine en faisant observer que les Chemins de fer français, dont les conditions générales d'exploitation ne peuvent pas être comparées à celles des réseaux américains, tiennent une place très honorable dans

l'ensemble des chemins européens, en ce qui concerne l'augmentation de la capacité des wagons. C'est en France qu'a été réalisée, en premier lieu, l'application courante et étendue du matériel de 20 t à deux essieux, sans toutefois que les réseaux français soient restés étrangers au développement du matériel à bogies à plus grande capacité, dont les applications, forcément plus limitées en raison de la nature de notre trafic national, ne laissent pas d'être déjà importantes.

Ces derniers progrès réalisés, dans un espace de temps relativement court, sont dus aux efforts de tous ceux qui dirigent les services techniques et commerciaux des Chemins de fer. La Société des Ingénieurs Civils de France s'intéressera d'autant plus à ces progrès que trois de ses anciens Présidents, MM. du Bousquet, Baudry et Salomon, y ont contribué pour une très grande part dans leurs Compagnies respectives.

M. le Président remercie M. Biard de sa communication très intéressante et très documentée. Il se joint à lui pour féliciter également les Ingénieurs distingués qui dirigent les services du matériel et de la traction de nos Compagnies de chemins de fer français, et plus particulièrement ceux du Nord, de l'Est, et du P.-L.-M. qui ont su porter leurs réseaux et les maintenir à la hauteur des premiers chemins de fer du monde.

M. J. Deydier, chef du service des travaux publics de la Guyane, a la parole pour sa communication sur *les Travaux Publics de la Guyane Française.*

M. J. Deydier expose d'abord la situation actuelle de ce pays aux merveilleuses richesses naturelles, que l'industrie et le commerce métropolitains négligent trop, parce qu'ils l'ignorent, et dont la surface, suppose-t-on, est les deux-tiers de celle de la France. Cette riche contrée réalise les rêves les plus étranges du botaniste, du naturaliste, du géologue, par sa flore, sa faune et son sol, jusqu'à présent à peine étudiés.

Cette région neuve est appelée, il faut qu'on le sache bien en France, à notre époque d'expansion coloniale intensive, à occuper, dans l'avenir, une place économique prépondérante. Avec ses 10 et 12 millions d'or annuels, produits par une exploitation rudimentaire, la Guyane française représente le centième de la production mondiale aurifère. Ses bois de construction et d'ébénisterie sont très haut côtés sur les marchés de Londres et d'Anvers pour leurs merveilleuses couleurs et leurs rares qualités marchandes. Et cependant on ne s'occupe plus de leur exploitation dans le pays : ce sont les deux Guyanes étrangères voisines, moins bien dotées cependant en beaux produits, qui fournissent toutes les essences si recherchées en Europe. Ses richesses minières en fer, cuivre, nickel, or, platine ; les gemmes précieuses de son sol : grenats, rubis, saphirs, topazes, jades, améthystes ; les gommes et les résines, le caoutchouc, le balata de ses forêts ; ses plantes médicinales : quinquina, etc. ; les dépouilles de ses animaux, peaux, poils, plumes, notamment des aigrettes et des oiseaux-mouches ; la colle de poisson, le noir d'ivoire, etc., ne sont pas assez connus du public français. Il y a nécessité économique urgente à dresser la *Carte* officielle, géogra-

phique et géologique de la Guyane française, contrée au nord-est de l'Amérique du Sud, colonie française depuis 1643 et dont l'intérieur n'est pas encore connu !.. Ce serait le début d'une ère de prospérité nouvelle pour la belle « France équinoxiale » des XVII^e et XVIII^e siècles, pour cet Eldorado des anciens conquisitadores, aux richesses enfouies et qu'un bien faible effort suffirait à mettre au jour.

M. Deydier soumet à la haute critique technique de l'assemblée la question des *Travaux publics* à la Guyane, telle que la lui ont fait concevoir trois années de séjour (1901-1904), à la tête de ce service. Il rend un hommage respectueux au souvenir de ses illustres prédécesseurs, aux Ingénieurs éminents que furent les Guizan, les Torcy, les Lallouette, les Dupuy, qui, bien qu'en se plaçant à des points de vue de principes tout différents de ceux dont le conférencier préconise l'emploi pratique de nos jours à la Guyane, ont su résoudre des problèmes vitaux pour ce pays qui, reconnaissant, vénère leur mémoire glorieuse.

Examinant tout d'abord la question du *Marécage* qui, aux portes de Cayenne, constitue un danger permanent pour la santé publique, M. Deydier expose que, pour rendre aux trois canaux de drainage créés par les anciens (le canal Laussat, la Crique-Fouillée et la Rivière du Tour-de-l'Ile) leur section primitive, aujourd'hui presque complètement obstruée par les dépôts vaseux très adhérents que charrie le courant des Amazones ou grand courant équatorial, il faudra employer, concurremment à la drague, des épis transversaux au thalweg des canaux, épis dont il explique la nécessité absolue pour permettre à ces canaux de remplir à nouveau le but multiple, en vue duquel ils ont été creusés : de drains d'assèchement, de voies de communication facile et sûre et de port pour les canots de pêche et les petits cabotiers dits « tapouyes » dans le pays.

Parlant de la *Barre* qui ne permet plus aux navires d'un tirant d'eau supérieur à 3 m d'entrer dans la rade de Cayenne, sauf aux très hautes marées des syzygies équinoxiales, M. Deydier préconise l'établissement d'un barrage au droit du Lazaret du Larivot, à l'embouchure de la Rivière de Cayenne, au fond de la rade. En cet endroit, les rives encaissantes sont en roc solide, au lieu d'être constituées par de la vase ou du sable, ce qui est le cas général à la Guyane. Ce barrage laisserait un espace libre, vers le milieu du fleuve, pour le passage des eaux et un pont pourrait être jeté dessus, reliant les bords du barrage interrompu. On aurait ainsi résolu la triple question du désenvasement de la rade, de l'enlèvement de la barre et de la communication par terre de Cayenne au Maroni, centre de transportation à la Guyane.

La situation économique du pays, — dont le développement croissant des affaires durant ces dernières années était dû à la découverte de riches placers, — ayant exigé l'agrandissement des quais de Cayenne, M. Deydier fut amené à construire un nouveau *Mur de quai*, de 100 m de longueur, en maçonnerie et à arcades voûtées en sidéro-ciment. Il explique comment il fut conduit à fonder sur le bon roc dont les sondages révélèrent l'existence, à une distance du niveau de la vase de 4 à 5 m, et il dit pourquoi il ne voulut pas recourir à l'emploi des pilotis.

Il raconte les pénibles difficultés qu'il y eut à surmonter pour mener à bien ce travail qui dura un an et pour lequel furent employés plus de 2000 m³ de roches et remués plus de 3000 m³ de vase. L'exécution en fut faite par cinquante condamnés travaillant le jour et même, grâce à l'éclairage assuré par des lampes à arc (les premières quo Cayene voyait fonctionner), la nuit, suivant les marées propices, sous la pluie, sous un soleil ardent dont la réverbération était rendue très pénible par les nuages, l'eau et la vase environnantes. L'enfoncement des caissons en bois exigea une tenace persévérance et un laborieux entrainement du personnel. Il n'y eut ni morts, ni blessés, ni malades sérieux, malgré toutes ces difficultés, grâce au concours intelligent de ses collaborateurs que M. Deydier est heureux de remercier ici.

Parlant de l'*Alimentation en eau* de Cayenne, qui se faisait, depuis 1867, grâce à Lallouette, par le captage des eaux de surface, dans des bassins argileux naturels, au sommet d'un morne des environs, le Rorota, M. Deydier explique comment il fut amené à étudier et à résoudre pratiquement cette question de primordial intérêt général. Il dit comment il fut conduit, au moyen de ses sondages, à déterminer, avec une presque certitude géologique, qu'il explique longuement, l'existence de nappes aquifères superposées, étagées, tant en plaine qu'en montagne. Il fait ressortir l'importance de cette remarque, au point de vue de l'alimentation en eau potable des centres de population, dans un pays ou la marée influence les fleuves jusqu'à plus de 50 km dans l'intérieur et où il y a parfois disette d'eau, bien que le pluviomètre accuse 3 et 4 m d'eau tombée annuellement. Cette question capitale intéresse non seulement la Guyane, mais aussi nos colonies à terrain et à climatologie analogues, d'Afrique occidentale et d'Indo-Chine.

M. Deydier indique comment il construisit une *Digue de protection*, contre l'envahissement des eaux et de la vase de la mer, de la banlieue sud de Cayenne. Cette digue, en terre argileuse, protégée par un mur maçonné au ciment, a 400 m de longueur, 3 m de plate-forme et 3 à 4 m de hauteur. C'est le seul exemple, croit M. Deydier, de remblai exécuté par la main-d'œuvre libre à la Guyane. M. Deydier montre les photographies *d'Autres Remblais* analogues qu'il eut à construire.

Passant à la question *des Routes*, il parle de « la route coloniale n° 1 » que d'aucuns, ironiquement, dénomment « Route numéro zéro » et qui, bien qu'ayant la prétention de faire communiquer Cayenne et le Maroni, par terre, est plutôt un sentier casse-cou qu'un véritable chemin, sauf sur une dizaine de kilomètres. Dans « l'ile de Cayenne », il existe une trentaine de kilomètres réellement carrossables. Au total, donc, une cinquantaine de kilomètres de voies de communication passables pour un pays dont le développement du littoral est de 500 km environ et dont la profondeur est au moins aussi grande, sinon supérieure.

M. Deydier indique l'impossibilité, pour le pays, de rien entreprendre dans cette voie, *sans le concours de la main-d'œuvre pénale*. Il explique comment il faudrait procéder pour remplacer, par des ponts en sidéro-ciment, dont il préconise vivement l'emploi à la Guyane, les antiques bacs encore en usage et les ponts en bois.

Quant *aux Chemins de fer*, sauf les quelques kilomètres de rails du

Maroni, qui servent au seul usage de l'Administration Pénitentiaire, il n'en existe pas à la Guyane. Deux projets sont à l'étude : le premier, de pénétration à l'intérieur, devant desservir surtout les placers; le second, littoral, serait d'une utilité précieuse pour le développement des communes sous le vent. Les communications entre les communes et Cayenne se font actuellement par mer, en « tapouyes », et sont dangereuses à certaines saisons, toujours fort onéreuses. Il y a lieu, pour le développement économique du pays, de s'occuper, enfin, sérieusement, de cette question capitale des voies de communication.

Parlant du *Desséchement des marécages littoraux*, M. Deydier indique le système qu'il a imaginé dans ce but. C'est un bassin maçonné, étanche, communiquant constamment avec la mer, et d'une manière intermittente seulement, à la laisse des basses eaux, avec le marais à dessécher. Il appelle l'attention sur la double canalisation, enfouie sous le sable et la vase, à plusieurs mètres de profondeur, et qui traverse, sur une longueur de plus de 100 m, le cordon littoral des dunes, obstacle ayant provoqué le marécage, en empêchant l'écoulement à la mer des pluies de l'intérieur des terres.

A Montjoly, *centre de colonisation martiniquaise*, refuge offert par le Gouvernement à troix cent cinquante sinistrés, victimes de la terrible catastrophe du 8 mai 1902, ce système de drainage fut appliqué pour la première fois et donna des résultats excellents : des terres noyées, depuis longtemps improductives et paludéennes, furent immédiatement rendues à la culture.

M. Deydier indique comment fut créé ce centre, où tout dut être littéralement improvisé, en quelques mois, grâce au concours de 150 hommes de l'élément pénal, que l'État concéda gracieusement à la colonie, et grâce aussi au dévouement des habitants de la colonie-sœur. M. Deydier explique — sur un panorama en couleurs de 6 m sur 1 m, qui représente en perspective Montjoly, les travaux achevés — comment ont été percées dix avenues de *600* m de longueur chacune et de 10 m de largeur, en pleine brousse et en plein marécage; comment, en *15* jours, ont été édifiés des hangars de 75 m de longueur et 8 m de largeur; comment ont été construites *120* cases de 9 m sur 7 m; comment, enfin, a été établi un camp pour loger, sur place, les *150* condamnés, etc.

C'est un bel exemple de travail colonial utile et rapidement mené à bien.

M. Deydier, ensuite, développe des considérations très intéressantes, les premières qui aient été faites dans cet ordre d'idées, *sur l'emploi raisonné de la main-d'œuvre* qu'on peut occuper à la Guyane. La population n'y est que de 30 000 âmes, en comprenant les 4 à 5 000 condamnés et les 1 500 à 2 000 Indiens de l'hinterland. Il examine successivement et d'une façon approfondie leur emploi pratique et rémunérateur pour qui a recours à eux : 1° les canotiers : Boschs, Saramakas, Bonis, Indiens et créoles guyanais; 2° les habitants des communes; 3° les condamnés; 4° les libérés et les relégués; 5° les ouvriers d'art antillais et guyanais; 6° les noirs étrangers.

Enfin, *pour conclure*, M. Deydier remercie vivement la Société de sa bienveillante hospitalité, qui lui a permis de parler en faveur d'une des

plus belles colonies françaises, sinon la plus belle, la plus riche, mais aussi peut-être la plus méconnue. Cette région mérite, au lieu de l'abandon et de l'oubli actuels, toute l'attention raisonnée de l'élite intelligente qui songe à l'avenir économique de la « plus grande France ».

M. le Président demande si certains bois, employés en Europe pour les travaux à la mer, et connus sous le nom de *Green Hart*, ne seraient pas ceux auxquels M. Deydier a fait allusion au cours de sa communication. Ces bois sont fournis surtout par les Anglais et les Hollandais.

M. J. Deydier répond qu'à la Guyane il y a, en effet, des bois imputrescibles et qui ne sont jamais attaqués par les tarets; les uns, tels que le *Wacapou*, qui sont très lourds et très denses; les autres, plus légers, parmi lesquels le *Grignon* et le *Langoussi*.

Au cours de ses travaux, M. Deydier a retrouvé des bois absolument sains, et enfouis dans la vase depuis plus d'un siècle. Malheureusement, la Guyane française, qui autrefois en exportait beaucoup, n'en tire plus actuellement aucun parti, surtout depuis le développement de la recherche de l'or. Il n'en est pas de même de la Guyane hollandaise et de la Guyane anglaise qui comptent : la première 100 000 âmes, et la seconde plus de 300 000, alors qu'à la Guyane française il y a à peine 30 000 habitants, y compris les condamnés.

M. le Président remercie M. Deydier de sa très intéressante communication, qui est de nature à appeler l'attention sur les régions de la Guyane et du Maroni, trop peu connues et trop négligées jusqu'ici.

Il le félicite en même temps pour les travaux qu'il a exécutés avec une main-d'œuvre insuffisante et des moyens primitifs. Les murs de quai semblent avoir été très bien faits, et les dispositifs d'irrigation ou de desséchement des marais sont très ingénieux.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. L. Ancel, Ch. Baron, E. Guilhem, E.-M. Michel, A.-E. Piesse, R.-P.-J. Wittebolle, comme Membres Sociétaires Titulaires;

De MM. J. Clasen et J.-P. de Saint-Léger, comme Membres Sociétaires Assistants, et de :

M. J. Allard, comme Membre Associé.

MM. E.-E. Blin, P.-P.-J. Brocard, F.-L.-A. Cuchet, G.-F. Desjacques, J.-F. Desplats, H. Lasserre, A.-L. Leleu, A. Nanquette, A. Sauvaget, G.-A. Somme, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires, et :

M. C.-E. Patard comme Membre Associé.

**La séance est levée à 10 heures trois quarts.**

*L'un des Secrétaires techniques,*
J. Deschamps.

LES

# TRAVAUX PUBLICS

EN 1905

# A LA GUYANE FRANÇAISE

PAR

**M. Joseph DEYDIER**

---

Nous avons l'honneur de soumettre à votre haute critique technique la question des travaux publics à la Guyane, telle que nous l'ont fait concevoir trois années de séjour à la tête de ce service (1901-1904).

## AVANT-PROPOS

C'est avec un intérêt sans cesse renouvelé que nous avons été amené à étudier successivement les multiples problèmes qui se posent à l'examen de l'Ingénieur dans cette merveilleuse contrée dont la surface est, dit-on, d'un tiers inférieure à celle de la France, — où la nature se montre sous les aspects grandioses des forces primitives non encore utilisées; — dans ce riche pays, trop inconnu de la Métropole, et qui réalise les rêves du botaniste, du géologue, du naturaliste, par sa flore singulière, sa faune étrange, son sol si riche dont l'étude jusqu'à présent est encore presque tout entière à déterminer scientifiquement.

Cette région, — il faut qu'on le sache bien en France, — est appelée à une grande prospérité, à une place prépondérante industrielle, — dans un avenir prochain, — à notre époque d'expansion coloniale intensive, à un moment où les problèmes modernes et si délicats du travail et de la main-d'œuvre rendent de plus en plus hésitants et craintifs les capitaux européens.

Ce pays, peu et mal exploité aujourd'hui, — parce que peu et mal connu, — fournit néanmoins avec ses 10 et 12 millions d'or annuels, extraits par une exploitation rudimentaire et défectueuse, presque le centième de la production mondiale. Ses bois de construction et d'ébénisterie sont très recherchés et très haut cotés sur les marchés de Londres et d'Anvers, aussi bien pour leurs merveilleuses couleurs que pour leurs rares qualités marchandes. Ses richesses minières en fer, cuivre, nickel, or, pla-

tine, — les gemmes précieuses de son sol, grenats, rubis, saphirs, topazes, jades, améthystes, — les gommes et les résines, le caoutchouc, le balata, le quinquina de ses forêts, — ne sont pas assez connus du commerce français. Il y a donc nécessité économique urgente à dresser enfin la *carte* géologique et géographique de la Guyane, région au N.-E. de l'Amérique du Sud, possession française depuis 1643 et dont l'intérieur est encore en 1905 à explorer ! Ce serait là, tout à la fois, une belle affaire financière et le début d'une ère de prospérité nouvelle pour la *France équinoxiale* des XVIIe et XVIIIe siècles, pour cet Eldorado rêvé des anciens conquistadores, aux richesses enfouies et qu'un bien faible effort suffirait à mettre au jour.

Notre but tout particulier est d'indiquer ici les méthodes que nous avons employées, ou qu'il y a à employer, à notre avis, pour exécuter certains travaux publics d'utilité primordiale, dans ce pays neuf, au terrain primitif, non volcanique, — où tout est silice et alumine, sans calcaire, et dont les fleuves, sans lit ni bassin nettement définis, sont barrés par des bancs de roches, nommés *sauts*, analogues aux « rapides d'Afrique ». Dans chaque fleuve, le premier saut est en général la limite à laquelle cesse de se faire sentir l'influence de la marée, dont l'amplitude, à la Guyane, atteint et dépasse 3 m. La distance du premier saut à la mer varie de 50 à 100 km suivant les fleuves.

Dans cette rapide étude sur les travaux publics à la Guyane, nous devons, tout d'abord, rendre un hommage respectueux au souvenir de nos illustres prédécesseurs, aux *Guizan*, aux *Torcy*, aux *Lallouette*, aux *Dupuy*, qui se sont tous attaqués aux questions que nous allons examiner et qui, — bien qu'en se plaçant à des points de vue de principes tout différents de ceux dont nous préconisons l'emploi pratique de nos jours à la Guyane, — ont su résoudre, d'une façon très heureuse pour l'époque et les besoins du moment, les problèmes vitaux pour ce pays : du dessèchement des marécages, de l'alimentation de Cayenne en eau potable, de la navigation intérieure par canaux littoraux et des digues de protection contre l'envahissement de la mer.

Leur mémoire glorieuse survit dans le pays reconnaissant et, tout le premier, — au point de vue technique, — nous admirons leurs savants ouvrages, — dont certains subsistent encore, — en nous reportant à l'époque où ils furent exécutés et en songeant aux efforts, à l'énergie et à l'intelligente persévérance que leurs auteurs durent déployer pour pouvoir réussir.

## CHAPITRE PREMIER

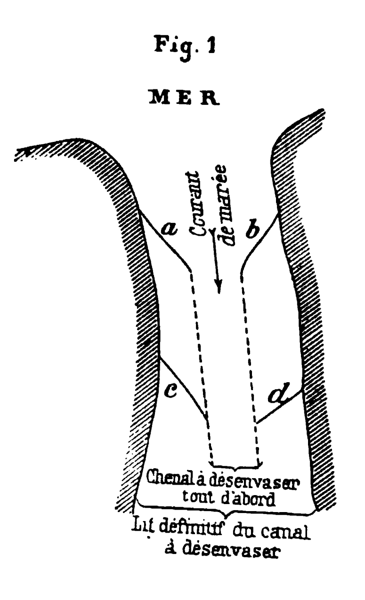
### Exposé et examen de la question des travaux publics.

Nous examinerons tout d'abord la question du *marécage* qui, aux portes de Cayenne, constitue un danger pour la santé publique. Il est vrai d'ajouter que les vents du large qui règnent le plus souvent à Cayenne, empêchent les miasmes de ces marais de se faire sentir dans la ville. Les anciens, toutefois, en avaient compris le danger et avaient creusé trois canaux de drainage : le *Canal Laussat*, la *Crique Fouillée*, la *Rivière du Tour de l'Ile*.

Ces trois artères sont presque complètement obstruées aujourd'hui par le sable et la vase charriés par le *grand courant équatorial* ou « courant des Amazones, » et qui cheminent sous forme de barres transversales au littoral, le long des côtes guyanaises, à la manière des dunes de sable terrestres.

Pour désenvaser les canaux et leur faire rendre les services précieux d'autrefois — de *drains* d'asséchement, de *port* pour les canots de pêche et les petits caboteurs, dits « tapouyes », dans le pays, et de *voies de communication* faciles et sûres, — il faut non seulement recourir à la drague que la Guyane a acquise dans ce but, mais employer, concurremment avec celle-ci, des *épis transversaux* ***a b c d*** au courant, en utilisant le système de *barrages par pilotis* que les Annamites, anciens pirates déportés à Cayenne, emploient pour leurs si ingénieuses pêcheries, dont la rudimentaire charpente est une véritable merveille de résistance *(fig. 1)*.

Fig. 1




Dans un pays à marée d'amplitude à peu près constante (3 et 4 m), mais à brusques ras de marée très violents et subits, l'homme ne peut résister à la prodigieuse action de la mer qu'en

obligeant celle-ci à détruire son propre ouvrage et à maintenir constamment en bon état de fonctionnement le canal qu'il lui aura donné à creuser. Le travail de la drague, tel que nous le concevons, est d'enlever certaines parties de vase trop consistantes pour être désagrégées par la marée. On pourra aussi la faire fonctionner dans les intervalles des marées trop faibles pour produire un effet utile. Enfin, en certains points, la drague pourra être employée avec avantage pour creuser, dans l'axe du canal envasé, la rigole du début nécessaire à l'action des épis. Nous estimons à cinq ans la durée de ce travail. Il y a au moins 600 000 m³ de vase à extraire sur une longueur de 30 à 40 km où poussent les palétuviers très difficiles à arracher de la vase que colmatent leurs racines enfoncées très profondément. Entrepris avec la *drague seule*, sans épis transversaux, ce sera un travail à recommencer sans cesse, sans effet utile appréciable et qui rebutera dès le début les meilleures énergies. C'est l'échec certain.

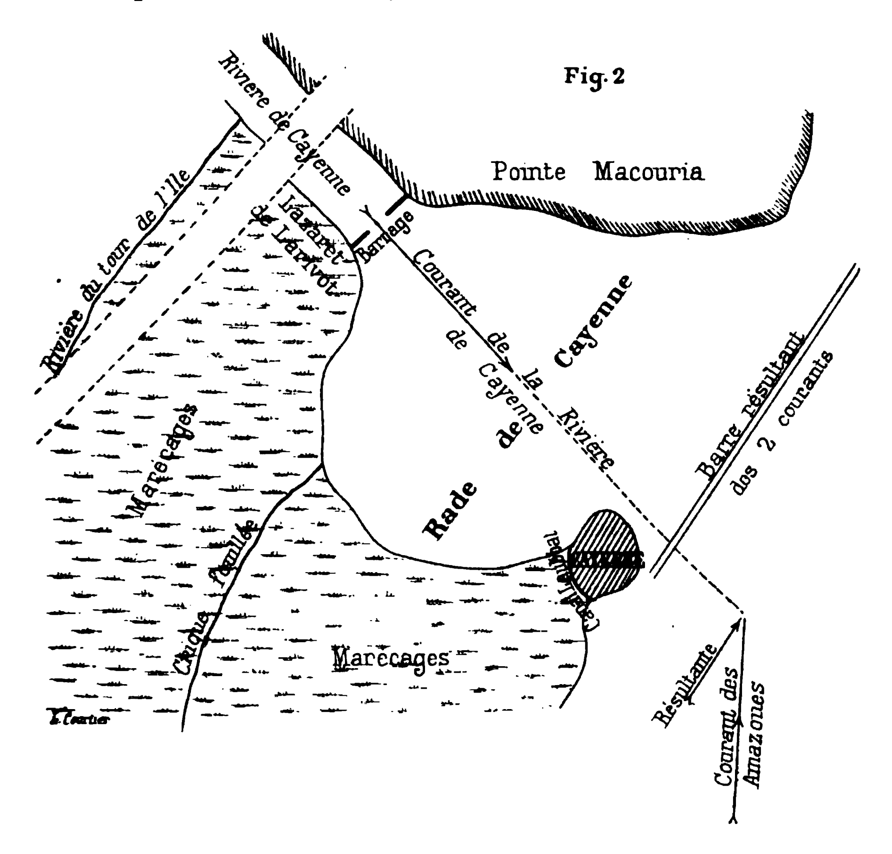
Une autre cause de danger pour le développement économique du pays réside dans la présence de la *barre* qui obstrue l'entrée de la rade de Cayenne, et qui est provoquée par la rencontre du courant équatorial et de la rivière de Cayenne. Les navires de 3 m de tirant d'eau ne peuvent plus y passer, et avec peine, qu'aux très fortes marées des syzygies équinoxiales.

Pour enlever cet obstacle ou, du moins, pour l'éloigner assez vers la haute mer, afin de permettre une couverture d'eau convenable au passage des grands voiliers, nous préconisons l'établissement d'un *barrage* en face du lazaret du Larivot, à l'entrée de la rivière, au fond de la rade. En cet endroit, les rives encaissantes, au lieu d'être formées de vase sont, par exception, en roc solide. Ce barrage laisserait un espace libre, vers son milieu, pour le passage des eaux. La section d'écoulement, ainsi diminuée, augmenterait d'autant la vitesse du courant fluvial qui, — toutes résistances égales d'ailleurs, dues, d'une part, à l'épanouissement du courant dans la traversée de la rade et, d'autre part, à la rencontre du courant équatorial, véritable obstacle de 200 milles de largeur, — éloignerait vers le large la barre dont l'emplacement actuel est dû uniquement à la faible vitesse du courant de la rivière de Cayenne (*fig. 2*).

On pourrait, d'ailleurs, jeter un pont sur l'espace laissé libre, et se trouverait ainsi résolue la triple question du *désenvasement* de la rade, de l'*enlèvement* de la barre ou tout au moins de son

*éloignement utile* suffisant, et de la *communication par terre* de Cayenne au Maroni. Actuellement, cette route est coupée par la rivière qui a 800 m en cet endroit.

Nous ne parlons pas de l'établissement d'épis transversaux aux bords du rivage, dans la rade. Évidemment, ce serait une aide précieuse pour maintenir entière la force du courant créé par le barrage, pendant la traversée assez longue de la rade. Mais nous n'estimons pas indispensable leur emploi, qui aurait le gros inconvénient de diminuer énormément la surface utile du petit port ouvert qu'est la rade de Cayenne.




Malgré les inconvénients économiques résultant de la barre et de l'envasement des trois canaux de l'île de Cayenne, le développement croissant des affaires de la ville, — provoqué par les découvertes récentes de riches placers, — ayant exigé l'agrandissement de ses quais devenus trop restreints, nous fûmes amené à exécuter ce travail.

Le *mur de quai* existant et qu'il fallait remplacer, s'était fendu et bombé sous la poussée du remblai. Il avait été fondé sur d'anciens pilotis qui s'étaient déversés. Nous pûmes nous rendre compte, par des sondages préliminaires, que la roche se trouvait à 4 et 5 m du niveau de la vase qui la recouvrait, épaisseur qu'on prétendait bien plus grande et que d'aucuns même disaient indéfinie. Nous décidâmes donc de bâtir directement sur le roc, en évitant ainsi les pilotis, et de construire, par économie et pour plus de solidité, le mur en arcades. Les voûtes étaient en sidérociment, ce qui constituait une innovation dans les constructions du pays.

Quelques chiffres feront juger de l'effort réalisé. En moins d'un an, 3 000 m³ de vase au moins furent enlevés et près de 2 000 m³ de maçonnerie édifiés. Le mur avait 100 m de longueur. Ce fut un pénible travail, dont le mérite de la réussite revient à l'élément pénal. L'exécution en fut faite par 50 condamnés travaillant le jour et même, grâce à l'éclairage assuré par des lampes à arc, (les premières que Cayenne voyait fonctionner), la nuit, suivant les marées propices. Et cela, quel que fût le temps, sous la pluie ou sous un soleil ardent dont la réverbération était rendue très pénible par les nuages, l'eau et la vase détrempée environnantes. L'enfoncement des caissons en bois exigea une tenace persévérance et un laborieux entraînement du personnel. Bien souvent on dut recommencer en entier un trou de pile à peu près terminé et que venait tout à coup combler la vase molle qui pénétrait par le fond et les parois du caisson déversé brusquement par la rencontre, impossible à prévoir, d'un mât de tapouye immergé depuis plus de cent ans, ou de soudaines sources d'eau douce venues du roc sous-jacent. Malgré toutes ces difficultés, parmi les 50 condamnés employés, pendant près d'un an, à ce pénible travail, il n'y eut ni mort, ni blessé, ni malade sérieusement de fièvre ou d'échauffures par le contact de la vase argileuse (qui attaque la peau comme un véritable ciment). Cet heureux résultat est dû au concours intelligent et dévoué de nos collaborateurs du Service des Travaux, que nous sommes heureux de remercier ici.

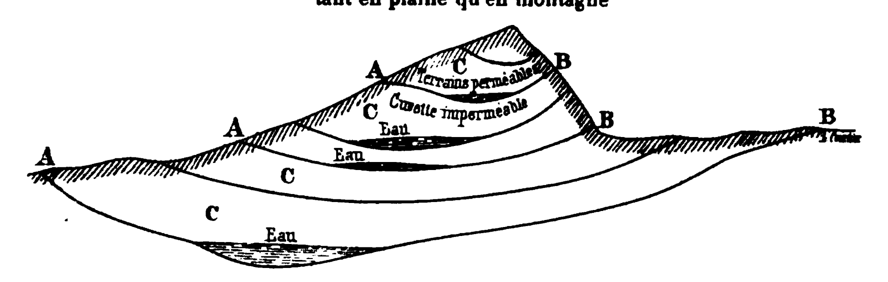
L'*alimentation en eau*, de Cayenne, qui se faisait, depuis 1867, grâce à Lallouette, par le captage des eaux de surface dans des bassins argileux naturels au sommet d'un morne des environs de la ville, *le Rorota*, étant devenue insuffisante par suite de l'augmentation de la population provoquée par la découverte de riches

gisements d'or, nous fûmes amené à étudier tout particulièrement cette question de primordial intérêt public, et nous eûmes l'heureuse fortune de reconnaître que la nature des terrains de l'île de Cayenne et du littoral de la Guyane (presque certainement aussi celui de l'intérieur), permettait d'avoir autant d'eau claire, pure et filtrée naturellement qu'on le désirait, en captant les eaux des nappes souterraines étagées qui constituent le sol alternativement sablonneux et argileux.

Nous avons pu déterminer que la loi d'alternance de ces nappes, jusqu'à 40 m du moins (profondeur à laquelle nous nous sommes arrêté, surpris par la saison des pluies), était de 3 à 6 m au maximum entre deux nappes consécutives (*fig. 3*).

Fig. 3

**COUPE SCHÉMATIQUE D'UN MORNE DE L'ILE DE CAYENNE**
**MONTRANT LA LOI D'ALTERNANCE DES NAPPES AQUIFÈRES**
**tant en plaine qu'en montagne**




N. B. - Les mornes de l'île de Cayenne ont tous le profil triangulaire, et nous avons reconnu que leur groupement affecte la forme de 2 ellipses orthogonales l'une à l'autre, dont les grands axes sont orientés N. S. - E. O.

Ce résultat est suffisant pour pouvoir déclarer que la question de l'alimentation en eau potable de Cayenne ne se pose plus, en principe tout au moins. Nous ne pouvons qu'indiquer ici les déductions qui nous ont amené à déterminer, avec une presque certitude géologique, les causes de transformation du granit de constitution des mornes de la Guyane en couches aquifères alternées, sous la puissante action combinée de dissolution et de décomposition, à la haute température des époques anciennes, des éléments primitifs réagissant l'un sur l'autre. Cette action, se continuant de nos jours avec les 3 et 4 m de hauteur de pluie tombée actuellement à la Guyane, (*c'est-à-dire autant de mètres qu'il y a de centimètres indiqués au pluviomètre de Paris*), a étagé les produits de décomposition du granit constitutif en éléments de gravités suc-

cessives : quartz, feldspath, mica et sous-produits minéraux (entre autres, les *gemmes précieuses*), c'est-à-dire silice, alumine, leurs composés plus ou moins complexes, et enveloppe imperméable d'argile, cette dernière plus ou moins fendillée par les *failles (d'où les filons métallifères)* provoquées par la contraction provenant de l'abaissement de température des scories et du laitier de l'écorce primitive du noyau central.

Nous concevons donc l'ordre de superposition des couches alternées aquifères des *mornes* ayant communiqué entre elles sous l'action successive de la gravité, des fissures et des agents atmosphériques tant anciens qu'actuels.

Nous en déduisons l'existence de nappes et de torrents *en plaine*, et que la configuration physique du sol décèle d'ailleurs facilement. Comme conséquence pratique, *en n'importe quel point de la Guyane*, on peut percer des puits avec confiance. On trouvera de l'eau potable en n'importe quelle saison, pourvu que la profondeur du puits soit assez grande.

L'analyse de ces eaux souterraines, que nous avons demandé à l'hôpital militaire de bien vouloir déterminer, a prouvé, à trois reprises variées, qu'elles étaient de qualité excellente, très aérées, sans trace d'azote ou d'ammoniaque.

*Ne peut-on étendre cette constatation de couches aquifères potables, que nous avons faite à la Guyane, aux terrains à constitution et à climatologie identiques de l'Indo-Chine et des colonies françaises de l'Ouest africain?*

On comprend l'importance de cette question pour ces pays, où la quantité de pluie tombée annuellement est énorme et cependant où il y a souvent disette d'eau potable : la végétation et le sol ont tout absorbé et les fleuves sont influencés par la marée jusqu'à 50 et quelquefois 100 km à l'intérieur.

Il y a peut-être *40 à 50 km de routes vraiment carrossables* à la Guyane, pays qui s'étend sur une longueur de côtes de 500 km, sur au moins autant sinon le double de profondeur !

Sur ce chiffre de 50 km, il faut compter 30 km de voies passables pour l'île de Cayenne et 15 à 20 km pour la route coloniale n° 1, que d'aucuns ironiquement dénomment *route numéro zéro*. C'est, en effet, un sentier casse-cou plutôt qu'une route, bien que sa prétention soit de desservir le littoral, de Cayenne au Maroni, sur une longueur de 300 km. Par contre, c'est la plateforme rêvée pour l'établissement d'une voie ferrée : peu d'ouvrages d'art, sauf toutefois les ponts à établir sur certains fleuves,

et la traversée assez délicate des marécages d'Iracoubo à Mana. Les mouvements des terres seraient presque nuls. Il faut le dire nettement : *On ne peut espérer faire de nos jours une route réellement praticable à la Guyane qu'avec le concours de la main-d'œuvre pénale. Il en est de même d'ailleurs pour tous les autres travaux publics un peu importants.*

Disons comment nous concevons la construction des *ponts* qui, $xx^e$ siècle, devraient enfin être substitués aux antiques *bacs* encore en usage à la Guyane et aux poutres de bois généralement employées pour la traversée des ruisseaux. L'emploi du sidérociment ou du béton armé s'impose. Les sacs de ciment peuvent facilement, ainsi que les fils de fer nécesaires, se transporter à tête d'homme, par charges de 20 à 50 kg (c'est le seul mode d'approche possible de la mer à la route). Quant au sable, il est tout rendu à pied-d'œuvre : presque partout il constitue le sol lui-même.

Évidemment, quand il y a de la pierre à proximité, la construction en maçonnerie est tout indiquée.

Nous avons essayé de donner l'exemple dans cette voie en remplaçant ainsi quelques ponceaux en bois par trop menaçants.

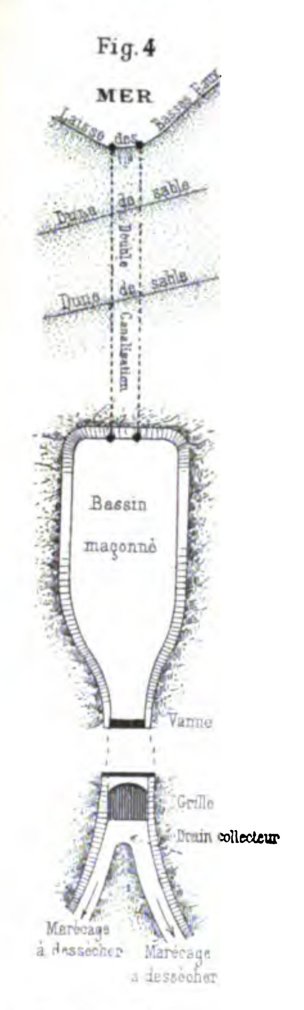
Quant aux *chemins de fer*, la seule voie qui serait vraiment économique et pratique à la Guyane, il n'en existe pas. Nous ne parlons pas, en effet, des quelques kilomètres, à voie étroite, qui desservent uniquement le territoire de l'Administration pénitentiaire du Maroni.

Deux projets pour la construction de 200 à 300 km de voies ferrées sont à l'étude. Leur exécution, ne fût-il établi qu'une centaine de kilomètres de rails, donnerait une profonde impulsion au développement économique du pays.

Le *premier* projet de pénétration à l'intérieur, a pour objet de desservir surtout les *placers*. Le second, dont le tracé suivrait le *littoral*, serait d'une utilité capitale pour le développement des « communes sous le vent », pour l'alimentation de Cayenne en vivres frais, et pour les communications commodes et rapides avec le Maroni, centre de transportation à la Guyane. Ces communications se font aujourd'hui uniquement par *tapouyes* et sont dangereuses, à certaines saisons, par le travers des bancs de vase dure qui se déplacent à tout instant le long du rivage, et, en tous cas, sont fort onéreuses : leur durée dépend des vents plus ou moins favorables.

Le dessèchement des *marais littoraux* est une question vitale pour le pays, tant au point de vue de la santé publique que pour la mise en valeur de terrains merveilleusement fertiles, à terreau de 2 et 3 m d'épaisseur, jusqu'ici improductifs et malsains.

A l'encontre du système préconisé par Guizan, — de conception très ingénieuse et simple : une porte verticale oscillant autour d'un axe horizontal sous l'influence de la marée qui la fermait et de l'eau du marécage qui l'ouvrait lors du reflux, mais dont les inconvénients étaient ceux inhérents à tout système mécanique automatique soumis aux forces naturelles, — nous avons été conduit à employer une méthode que nous croyons nouvelle et qui s'est démontrée très efficace d'après les résultats pratiques que nous en avons obtenus dès sa première application. En deux mots : permettre, *d'un côté*, un écoulement constant vers la mer, dont actuellement les séparent une ou plusieurs dunes de sable sur 100 m et plus parfois, les eaux de pluie tombées dans les bas-fonds du marégage; et empêcher, *d'autre part*, d'une façon absolue, la mer de pénétrer dans les marais desséchés, c'est-à-dire conquis à l'agriculture. Tel était le problème à résoudre.




Voici notre solution que nous avons l'honneur de vous soumettre *(fig. 4)* :

Un bassin en maçonnerie, fermé par une vanne du côté du marécage à dessécher, communique constamment avec la mer par une *double* canalisation partant du fond du bassin, *qui est en forme de bouteille, en plan, afin d'éviter toute résistance passive du liquide.* Cette double tuyauterie, enfouie sous le sable de la ou des dunes, débouche dans la mer au niveau de la laisse des basses eaux.

Voici le mécanisme de l'appareil : A la marée montante, la vanne est fermée : le bassin est vide. L'eau du marais s'accumule

dans le drain collecteur, mais ne peut entrer dans le bassin que ferme la porte-vanne. Le bassin forme avec la mer un système de vases communicants par l'intermédiaire de la canalisation noyée dans le sable. L'eau s'y établit donc de niveau avec la mer, pendant le flot.

De même, à la marée descendante, le bassin se vide par les tuyaux.

Quand le niveau y est égal ou, — mieux, — un peu inférieur à celui des eaux accumulées derrière la porte-vanne, celle-ci est soulevée à l'aide du volant-manivelle et le marais se vide dans la mer.

Au moment de la marée montante, la vanne est baissée, et ainsi de suite.

On conçoit l'utilité du bassin intermédiaire qui sert *d'accumulateur* et de « réservoir de chasse » pour maintenir constamment en bon état de fonctionnement 100 m (et plus : parfois 300 m) de tuyaux noyés à 2 et 3 m dans le sable, c'est-à-dire dont la visite est pratiquement impossible.

On comprend que le sable ou la vase du rivage peuvent augmenter en étendue, sans gêner jamais l'écoulement, vers la mer, des eaux de pluie de l'intérieur. Il n'y aurait, dans ce cas, qu'à augmenter la longueur de la canalisation en ajoutant de nouveaux tuyaux à l'extrémité qui débouche dans la mer.

Enfin, il importe peu, — pour le bon fonctionnement du système, — que la hauteur de la dune de vase ou de sable augmente par les apports des vagues : les tuyaux, enfouis à une grande profondeur sous le sable, ne seront jamais influencés.

Un avantage précieux du système est de permettre de maintenir constamment, dans les drains d'asséchement, de l'eau derrière la porte-vanne fermée. De cette manière, le terrain desséché n'est jamais absolument à sec, et le terreau, merveilleusement riche, de ces terrains conquis à l'agriculture, est maintenu constamment humide.

Le prix d'application de ce système est revenu, malgré les hésitations et les déboires inhérents à tout système de construction de début, à moins de 300 f l'hectare de terrain desséché. Ce prix est susceptible d'une forte diminution, — avec l'augmentation de la surface de terrains et avec la pratique de cette nature d'ouvrages. Toutefois, dès maintenant, il est intéressant de le comparer aux résultats obtenus pour des travaux récents — ou en cours, — analogues, exécutés à Java, pour l'irrigation et l'évacuation

des eaux, et dont l'estimation de l'hectare de terrain livré à la culture varie de 350 à 1 600 f.

Pour l'assainissement *complet* des terrains ainsi conquis sur le marécage, il serait éminemment pratique, au point de vue de l'hygiène — et tout à la fois rémunérateur, d'y planter certains arbres : ainsi, l'eucalyptus, d'un excellent rapport comme arbre de construction et fébrifuge renommé.

Dans le même but, nous préconisons l'emploi, à la Guyane, de *l'arbre à côtelettes*, bien connu aux Antilles pour ses propriétés médicinales, ainsi que du merveilleux *chapeau d'évêque* martiniquais, dont les oiseaux-mouches sont si friands des belles fleurs blanches parfumées.

En résumé, la question du dessèchement des *marais littoraux* est une question de tout premier ordre pour l'avenir et la salubrité du pays. Il y a intérêt capital à drainer à la mer l'eau stagnante, foyer de fièvre où pullulent les moustiques et autres insectes tout aussi malfaisants. Des plantations de « niaoulis », « d'eucalyptus », de « filaos », « d'arbres à côtelettes », de « casse médicinale », de « chapeaux d'évêque », auraient le triple avantage de *fixer le sol vaseux ou sablonneux*, — *de purifier l'air des miasmes paludéens*, — et surtout *de mettre en valeur d'immenses espaces jusqu'à présent improductifs et malsains.*

Il y a bien un second moyen de remédier à l'insalubrité du littoral provoquée par l'état stagnant des eaux de pluie de l'intérieur, dont le bourrelet des dunes côtières de sable et de vase empêche l'écoulement à la mer : ce serait de les mettre en relation constante avec la mer au moyen de tranchées transversales au rivage. D'autre part, par d'autres tranchées parallèles à la côte on relierait les diverses lagunes étagées ainsi le long du littoral, de Cayenne au Maroni. On obtiendrait ainsi un *canal latéral à la mer*, constamment alimenté et en eau tranquille, permettant une communication commode, de Cayenne au Maroni, pour les embarcations du pays qui redoutent, — bien qu'elles la bravent tous les jours, — la mer houleuse le long des côtes.

Pour les habitants des communes, dont chacun possède au moins un canot et est né pêcheur et marin, il serait d'une grande utilité de réaliser le beau rêve, — qui est loin d'être une utopie, — d'un canal littoral de Cayenne au Maroni. Ce projet serait infiniment plus du goût des habitants qu'une voie ferrée ; il serait d'ailleurs d'un prix bien moins élevé et rendrait de réels et immédiats ser-

vices. Pour le réaliser, il faut le concours de la main-d'œuvre pénale, — évidemment.

C'est à *Montjoly* que nous eûmes l'occasion d'appliquer le système de drainage dont nous avons indiqué ci-dessus le principe.

*Montjoly* est l'abri que, l'année dernière, la Guyane a offert, grâce au Gouvernement métropolitain, à quelques malheureuses victimes de la terrible catastrophe de la Martinique, du 8 mai 1902.

Pour la création de ce centre, tout dut être littéralement improvisé. C'est avouer bien loyalement que nous n'avons pas atteint la perfection, — à laquelle, d'ailleurs, aucun des collaborateurs de l'œuvre n'avait jamais rêvé. *Faire vite et le moins mal possible*, tel était notre seul désir à tous.

L'effort exécuté a néanmoins été considérable, si l'on songe aux conditions économiques qui nous étaientimposées. Nous ne serions certainement pas parvenus à le réaliser, malgré notre bonne volonté, sans l'aide des 150 condamnés que l'État concéda généreusement à la colonie pour contribuer à l'œuvre. Dans ce résumé succinct de l'historique de Montjoly, n'oublions pas les ouvriers du pays ou de la Martinique habitant le pays et ayant apporté leur concours qui nous a été si précieux.

Assurer chaque jour, et pendant plusieurs mois, le transport de trente véhicules de matériaux; percer dans la brousse une dizaine d'avenues de 10 m de largeur et de *600* (six cents) m de longueur, afin de permettre à l'air vivifiant de la mer de pénétrer dans le centre créé et d'en chasser les miasmes telluriques provoqués par les terres remuées; édifier en *quinze* jours des hangars de 70 m de longueur, pour abriter provisoirement une vingtaine de familles; construire en moins d'un an, plus de *cent* cases de 9 m sur 7 m; établir un camp pour loger *cent cinquante* condamnés et *cinq* surveillants militaires; chacun de ces derniers dans une case spéciale; voilà ce que la vaillante charité fraternelle guyanaise a su exécuter : exemple unique dans les annales de la colonie.

Transformer en un riant village, où aujourd'hui s'adonnent à la culture trois cent cinquante Martiniquais, un endroit où, quelques mois auparavant, régnaient, sans conteste, la brousse et le marais, c'est un bel effort prouvant la vitalité, l'énergie latente et les ressources qu'on peut rencontrer dans ce beau pays, quand le galvanise une idée généreuse.

Disons un mot de l'exploitation aurifère à la Guyane, qui s'af-

firme de plus en plus comme un pays producteur d'or. Depuis quelques années, c'est surtout le *placer* qui alimente (pour près de 1 million) le budget local qui atteint presque 3 millions. C'est lui qui a permis à la Caisse de Réserve, critérium, dit-on, de la prospérité d'une colonie française, d'atteindre le million, son maximum légal. Ce n'est d'ailleurs pas la première fois que ce maximum est atteint, soit dit en passant.

Que ne peut-on espérer de cet Eldorado quand l'exploitation, au lieu de se faire comme aujourd'hui par des moyens empiriques, au petit bonheur, par le sluice ancestral, succédané de l'ancienne toison du mouton, deviendra réellement industrielle, avec l'emploi de moyens vraiment économiques, quand le pays sera enfin connu, quand des voies de communication vraiment pratiques auront été ouvertes vers l'intérieur ?

Enfin, parlons des débouchés qu'il y a dès aujourd'hui (*et qu'aux* XVII^e^ et XVIII^e^ *siècles connaissaient bien les Français*) pour le commerce et l'industrie dans ce pays, et que malheureusement on a trop oubliés dans la métropole :

Seraient d'un profit considérable intelligemment exploités :

1° Les bois de construction, de carrosserie, d'ébénisterie;

2° Les dépouilles d'animaux, (peau, poils, plumes), et notamment de loutres, de jaguars, de conguars, de singes rouges, de tamanoirs, d'aigrettes, d'oiseaux-mouches, etc.;

3° Les sucs et les plantes industrielles : tabac, lianes textiles, caoutchouc, balata, vanille, gommes, essences résineuses, encens, etc.

4° Les plantes, herbes et racines, écorces medicinales : quinquina, etc.;

5° La distillation de l'alcool des fruits;

6° La fabrique de charbon de bois et l'extraction des gaz riches et pauvres, des cendres, de la potasse, du tannin de l'écorce du palétuvier, etc.;

7° Le noir d'ivoire, extrait des défenses des poissons;

8° La gomme et les résines fossiles, etc.;

9° Le baume du Pérou, la colophane, etc.

10° La colle de poissons, etc., etc.

Citons un dernier produit naturel : le *phosphate d'alumine*, qui constitue une île entière, située presque en face de Cayenne. L'exploitation de ce gisement, qui date de 1884, emploie 45 hommes d'une manière constante depuis cette époque. Il a déjà été extrait

40,000 t de phosphates et il en reste à extraire au moins autant. Malgré la concurrence du phosphate de chaux, malgré les manipulations chimiques nécessaires pour la transformation en phosphates assimilables, ce gisement considérable, *qui ne saurait être une exception dans le pays*, n'en constitue pas moins un produit d'excellent revenu pour l'exploitant. Nous ne parlons pas de la couche primitive de guano qui recouvrait toute l'île sur une épaisseur considérable, et qui n'a pas dû être une des moindres sources de bénéfice, comme travail préparatoire rémunérateur.

On constate dans l'île, fait à signaler, une source de phosphate de magnésie, très constante comme température et comme débit, et qui nous a paru fraîche, excellente à boire, d'un goût très légèrement acide, très claire.

## CHAPITRE II

## Étude sur la main-d'œuvre.

Dans un pays dont la superficie est plus des deux tiers de celle de la France, et dont la population n'atteint pas 30 000 âmes, y compris l'élément pénal, il semble, *a priori*, bien difficile de recruter un personnel ouvrier en nombre suffisant et capable d'un travail rémunérateur.

La question, en effet, est des plus délicates pour qui n'a pas une connaissance approfondie des choses et des gens du pays : c'est, d'ailleurs, l'unique cause des navrants échecs de certaines entreprises engagées par trop à la légère à la Guyane.

La méthode et les moyens de travail sont bien différents des procédés en usage en Europe, et il faut avoir mûrement réfléchi et avoir bien soigneusement examiné et étudié une coutume locale avant de se permettre de la rejeter, et surtout avant de la remplacer par une méthode nouvelle qui pourrait bien, elle, être un réel contre-sens, appliquée dans le pays.

Nous allons examiner les moyens de se procurer divers travailleurs sérieux, susceptibles d'être utilisés avantageusement, et sur qui on puisse véritablement compter, suivant la nature de l'ouvrage à exécuter.

Nous passerons successivement en revue :
1° Les canotiers;
2° Les habitants des communes;
3° Les condamnés;
4° Les libérés;
4° Les ouvriers d'art guyanais et antillais;
6° Les noirs étrangers, des colonies anglaises principalement.

### 1° Les Canotiers.

Dans une contrée où les cours d'eau, très nombreux, sont encore aujourd'hui les seuls moyens pratiques de communication et de pénétration à l'intérieur, la condition essentielle de succès pour tout voyageur qui veut monter aux placers ou faire une exploitation quelconque à la Guyane, est de se procurer de bons « pagayeurs ». La concurrence s'est établie entre les créoles du pays, les Boschs, les Bonis, les Saramakas et les Indiens.

Suivant les rivières et d'après l'objectif du voyage, il y a à opter pour les uns de préférence aux autres. Certains sont réputés meilleurs pour franchir les « rapides » ou « sauts » sans danger pour vous et vos bagages. D'autres vous transporteront dans le délai le plus court, museront moins longtemps durant le trajet. Mais, chose remarquable et à noter, vous pouvez avoir une *confiance absolue* dans la bonne foi et dans la scrupuleuse honnêteté de tous : jamais il ne se produira le moindre vol des objets transportés, quelle qu'en soit la valeur, or, vivres ou marchandises. Avant de se décider à partir, il y aura à soutenir des palabres, des discussions interminables avec les canotiers, dans le but, pour eux, d'obtenir le salaire le plus élevé possible et pour vous un fort rabais. Mais le prix débattu enfin convenu, une fois le marché conclu, vous pouvez être certain d'arriver à bon port. Vous n'avez plus à vous occuper de rien, sauf de votre nourriture pendant la pénible et longue traversée dans le canot, pirogue fouillée au feu dans un tronc d'arbre, sans quille, de très faible largeur et d'équilibre essentiellement instable auquel vous êtes bien forcé de vous habituer. Vous devez vous armer de patiente philosophie pour le voyage qui devient bientôt d'une énervante monotonie, malgré le décor féerique du paysage. Mais, avant de s'embarquer, il a fallu se résigner à une impassibilité et à un calme tels, pour débattre les conditions de transport, qu'on ne s'étonne plus des ennuis du canotage.

Pour discuter les prix, il faut avoir une profonde connaissance du caractère du pagayeur. Il y a du normand dans le splendide gaillard au torse merveilleux, à la sculpturale musculature, au flegme imperturbable et moqueur, au parler rare, avec lequel il ne faut rien oublier du contrat, spécifier toutes les clauses bien explicitement.

Bien rares sont les accidents en rivières. On ne signale que quelques cas exceptionnels, provenant d'imprudents placériens qui, ne voulant pas subir le prix quelquefois onéreux demandé par les pagayeurs professionnels (ne pas perdre de vue que nous sommes dans un pays d'exploitation d'or), avaient essayé de se passer de leur concours. C'est là une très grave imprudence : les rivières de la Guyane ne permettent pas au premier venu de les remonter ou de les descendre : c'est la spécialité, universellement reconnue dans le pays, et sans conteste, de certains créoles, des Boschs et Bonis, des Saramacas et des Indiens.

### 2° Les Habitants des communes.

Pour la route « par terre » — nous entendons à l'intérieur des bois, — pour les travaux de débroussage et de percée, nous avouons notre faible pour les condamnés européens, français principalement, acclimatés, qui seuls sont capables de la continuité et de l'endurance de l'effort soutenu.

Nous savons bien, pour l'avoir souvent expérimenté, que certains créoles guyanais, que les Indiens et que les noirs Boschs ont le sens de l'ouïe et de la vue bien plus développés et semblent posséder un sens spécial, merveilleux, qu'ignore la race blanche, celui de l'orientation dans la brousse et qui semble être une loi d'atavisme et d'adaptation au milieu. Mais, s'ils sont infatigables la « pagaie » ou le « tacari » à la main, par contre leurs jambes se lassent rapidement par la marche, ou plutôt ce genre de sport ne leur plaît pas pendant longtemps. D'autre part, ils n'aiment pas manier le « sabre d'abatis » d'une façon continue, bien qu'ils s'en servent avec une admirable habileté, et surtout ils exècrent porter des fardeaux. Enfin, superstitieux enfants de la nature, le cerveau farci de fantastiques légendes, la forêt leur fait peur.

Bref, pour des raisons variées, entre autres celles ci-dessus, la plupart sont incapables d'un effort soutenu autre que celui de la pagaie.

Pour les recherches minières et forestières, pour les prospections d'or, les créoles du pays sont d'excellents guides. S'ils sont rares ceux que l'on rencontre s'attachant et véritablement dévoués à l'Européen, le plus souvent la faute en est à ce dernier qui n'a pas su comprendre leur caractère ni juger leur valeur véritable. Très concentré et très réfléchi, le Guyanais étudie longuement et apprécie juste l'étranger qui lui propose une affaire. Parce qu'il ne répond pas de suite et qu'il est très long à se décider à formuler une opinion, il ne faut pas conclure à son désir de vous duper. Il est payé, en effet, pour se méfier des belles paroles des étrangers qui se sont succédés dans son pays. Mais, quand vous avez pu gagner sa confiance, il est d'un dévouement sûr et se dévoile d'une finesse et d'une délicatesse de sentiments extraordinaires, que l'on est stupéfait de découvrir et qu'étaient loin de faire prévoir les racontars fantaisistes de certains récits.

Il y a dans les divers centres, à Cayenne, à Sinnamary, à Mana, à Iracoubo, à Kaw, à Saint-Georges, à Kourou, des *coureurs de bois*, des *chercheurs d'or*, des *charpentiers de haute futaie*, connaissant à fond les richesses des terres intérieures de leurs communes respectives.

Le recrutement de ce personnel d'élite trop souvent a été négligé, parfois même mis volontairement de côté par des esprits peu clairvoyants qui croyaient avoir la science infuse et qui ignoraient tout du pays. Leurs échecs lamentables les ont cruellement punis de leur présomptueuse vanité, mais ont jeté, par contre, le discrédit sur un pays dont les richesses sont si facilement exploitables, quand on examine soigneusement la question de l'utilisation pratique des ressources naturelles qu'il présente et qu'on se débarrasse avec soin, en arrivant de la Métropole, de toute idée préconçue d'omniscience.

Le voyageur trouvera alors facilement des personnes du pays qui le renseigneront sur les questions qui l'intéressent. Avec leur aide, qu'il pourra, en sachant s'y prendre, convertir facilement et sans dépense exagérée en concours efficace et très rémunérateur, il sera à même de faire des découvertes en or, en pierres, en bois, d'exploiter des gisements nouveaux et ceux anciennement connus, d'effectuer le transport des produits sur un centre du littoral et d'assurer le ravitaillement en hommes, en vivres et en matériel du centre d'exploitation, par terre d'abord jusqu'au dégrad (c'est le point de la rivière où s'effectue

l'embarquement) et ensuite par la rivière, du dégrad au centre de la côte.

Le créole guyanais adore son indépendance. Il aime avoir toute sa liberté d'action. Toute contrainte lui est insupportable. Ce n'est que très rarement qu'il consentira à former un groupement de travailleurs salariés, obéissant à un chef. Il faut, pour cela, qu'ils aient tous pour ce chef un attachement personnel et des motifs tout particuliers de reconnaissance et de dévouement.

Laissant de côté ce cas trop spécial, exception qui cependant se rencontre, examinons le travail du condamné et du libéré que l'on peut obtenir en groupements très nombreux.

### 3° Le Condamné.

L'unité pénale n'a pas de rendement ni de valeur intrinsèque qu'on puisse exactement évaluer en chiffres. Son travail dépend uniquement de celui qui le dirige. Telle équipe fournira avec tel surveillant militaire un labeur considérable dont le rendement sera nul avec un autre surveillant. Le choix d'un bon *surveillant militaire* est donc la première préoccupation à avoir pour qui veut se servir de la main-d'œuvre pénale. Ce n'est que sur place et après l'avoir vu à l'œuvre qu'on peut opter pour tel surveillant particulier. Il faut un homme sobre et solide, qui sache se faire obéir sans brutalité et sans familiarité, toujours profondément juste envers les condamnés, connaissant bien les règlements de l'administration pénitentiaire et déjà habitué au travail qu'on a en vue. Il n'est pas rare d'en rencontrer qui réunissent toutes les conditions requises.

Vient ensuite le choix de *l'équipe*. Là encore il faut avoir vu à l'œuvre l'individu qu'on choisit, sinon on sera forcé de renouveler l'équipe partiellement, au fur et à mesure du travail, jusqu'à ce que l'on obtienne un noyau homogène d'hommes éprouvés, ce à quoi on arrive d'ailleurs facilement avec un bon surveillant militaire. Mais, dans ce cas, l'exploitation est grevée du prix du transport des mauvais qu'on renvoie et du voyage des nouveaux qui les remplacent, sans compter les pertes de temps provenant de ce chef.

Autant que possible, prendre des hommes *à courte peine*, c'est-à-dire condamnés à moins de sept ans, car ils n'auront aucun intérêt à s'évader, et par leur bonne conduite ils pourront espérer voir leur temps de bagne écourté.

Il faut choisir certaines nationalités, suivant les travaux à effectuer. Pour *tous les travaux de mouvements des terres*, prendre de préférence des Malgaches et surtout des Arabes, qui piochent et surtout pellètent avec une rapidité et une régularité de machines. Pour les *travaux fatigants et durs*, qui exigent la continuité d'un pénible effort et l'endurance, opter pour des Français et des Belges, excellents pour le débroussage, la trouée des futaies, l'abatage des bois, en un mot pour tous les travaux de force. Pour *la construction des carbets* et des abris dans la forêt, prendre des Français et des Antillais, surtout des Martiniquais. Nous ne parlons pas ici des créoles guyanais pour ce travail, dans lequel ils excellent cependant, mais il n'y en a pas *un seul au bagne :* c'est une précieuse particularité en faveur de leur scrupuleuse honnêteté que nous tenons à signaler ici. Enfin, pour la *chasse au gibier*, pour l'alimentation, dans la brousse, de l'équipe en vivres frais et en poissons, en dehors des boîtes de conserve, les Français se chargeront de la confection et de la pose des pièges et des trappes.

Il ne faut pas oublier la confection d'un *four à pain* pour un travail de longue haleine dans la brousse de ce pays. La « cassave » et le « couac » guyanais « fabriqués avec le manioc » plaisent médiocrement aux condamnés français. La *terre à four* se rencontre, on peut dire, en tous points à la Guyane. Les forçats français seuls savent bien fabriquer le pain : il faut choisir un condamné ou un libéré, ancien boulanger européen.

Le recrutement de ce personnel tout spécial peut être singulièrement facilité par les soins de l'Administration pénitentiaire, qui sait admirablement bien ce que vaut chaque individu. C'est à elle, d'ailleurs, qu'il faut adresser la demande d'emploi des condamnés. L'employeur paie de 0,50 f à 2 f, suivant les cas, par homme et par jour, à l'Administration, qui fournit elle-même la nourriture, les objets de couchage et les vêtements du condamné. Le surveillant militaire doit recevoir 1,50 f à 2 f par jour.

Pour obtenir un *bon rendement*, c'est-à-dire un effort supérieur à la tâche réglementaire exigible du condamné, afin de stimuler son zèle et son activité, afin de ne pas avoir de malades, c'est-à-dire le moins possible de *carottiers*, l'employeur doit, en pratique, presque doubler ce chiffre de 2 f, et compter au moins 3 f de dépense pour la journée de chaque condamné au travail. Il faut, en effet, lui fournir des « douceurs » que ne lui octroie pas l'Administration pénitentiaire, ou plutôt qu'elle lui délivre parcimo-

nieusement : du tabac, du vin, du café, du tafia. Il faut le faire, non pas à tout instant et d'une façon inconsidérée, mais seulement sur les indications et d'après les renseignements donnés par le surveillant militaire, à qui il faut, après lui avoir expliqué *grosso modo* le travail à exécuter, laisser le soin délicat de la distribution et de la surveillance de la tâche de chaque homme. Les condamnés font, à tour de rôle, la cuisine de l'équipe, et les vivres leur sont distribués par le surveillant militaire. Pour un surveillant, il y a vingt-cinq condamnés.

Nous estimons, par une expérience personnelle de trois ans, que l'emploi de la main-d'œuvre pénale, dans les conditions énumérées ci-dessus, est le meilleur que l'on puisse utiliser pour les travaux de terrassements, de coupes de bois, de débroussage et de gros travaux publics en général, à la Guyane française.

### 4° Le Libéré.

Le *libéré*, nom donné au condamné qui a payé sa dette à la Société, mais qui néanmoins est astreint au *doublage*, sinon à la résidence à vie dans le pays, coûte évidemment plus cher que le condamné en cours de peine. On ne peut guère espérer en employer à moins de 4 et 5 f par jour. Nous entendons, évidemment, des hommes qui travaillent réellement, et non des malades frissonnants de fièvre, incapables d'un effort continu, malheureux que leur séjour au bagne a réduits à l'état de squelettes ambulants.

Il y en a, parmi eux, qui sont véritablement bons, et dont on peut énormément obtenir. Ce sont d'anciens ouvriers, qu'un moment de folie, bien cruellement expié, a envoyés au bagne, et que celui-ci a rendus pires qu'à leur entrée dans le *trou*, c'est vrai, mais chez qui, néanmoins, toute dignité humaine n'a pas encore disparu. Ils opposent à l'avenir terrible qui les attend dans ce pays, d'où ils ne sortiront jamais et où ils sont méprisés et tenus à l'écart comme des êtres pestiférés, une force de résistance étonnante chez des êtres qui ont tant souffert, mais qui se rencontre chez quelques-uns qui essaient, par leur bonne conduite et leur désir de travailler, une réhabilitation chimérique pour la plupart d'entre eux ; la mort, presque toujours, arrivera avant.

Beaucoup de ces malheureux voudraient pouvoir trouver du travail, être employés à une besogne quelconque qui leur permît de gagner leur vie ; ils sont rebutés de toutes parts ; il n'y a

pas, en effet, assez d'emplois manuels pour tous, dans un pays d'or si peu peuplé. On se méfie d'ailleurs du libéré, qui peut redevenir voleur et assassin.

Ce sont autant de raisons de leur non-emploi, — raisons que nous ne discutons pas mais que nous constatons, — et qui font que le libéré perd enfin courage et peut devenir dangereux.

La question du *droit au travail* pour le libéré se posera cependant d'une façon inéluctable bientôt, à la Guyane, car chaque jour le nombre en augmente, depuis que ce pays est devenu le *seul centre de transportation* de la France.

Pour nous, qui avons eu à employer, pendant notre séjour de trois ans comme Chef du Service des Travaux publics de la Colonie, beaucoup de libérés, nous devons loyalement déclarer que tous, à quelques rares exceptions près, nous ont donné entière satisfaction. Nous ajoutons que c'est grâce à quelques-uns, ouvriers d'art spécialistes, maçons, mécaniciens, que bien des travaux ont été menés à bien, qu'il eût été impossible d'entreprendre si on ne les avait pas eus.

La main-d'œuvre indigène ignore en effet totalement certaines espèces de travaux, de maçonnerie soignée par exemple, ou de mécanique. A la Guyane, où l'emploi du plâtre est impossible à cause de l'humidité, toutes les maçonneries se font au mortier de ciment et de chaux hydraulique; exceptionnellement on emploie la chaux grasse. C'est dire combien est délicate, parfois, la construction. Le créole, sauf de très rares exceptions, emploiera très bien du mortier de la veille, auquel il ajoutera de l'eau, ou bien prendra, pour le fabriquer, du sable qu'il ira chercher sur le bord de la mer; quant aux proportions, il dosera toujours de même, que ce soit pour des travaux hydrauliques ou des cloisons briquetées de maisons d'habitation; le reste à l'avenant. Il n'en est pas de même des libérés, dont certains possèdent une véritable technique et souvent un tour de main spécial, acquis autrefois par la fréquentation des grands chantiers et des ateliers renommés de leurs pays respectifs.

Parmi les Italiens, se trouvent d'excellents ouvriers, intelligents, sobres, rebelles à la maladie, durs au travail, et dont on peut beaucoup obtenir, à la condition de ne pas les brutaliser. De même que les condamnés qu'ils étaient hier encore, les libérés n'acceptent ni l'injustice ni l'incapacité de qui les dirige, et qu'ils ont vite apprécié à sa juste valeur.

La plupart du temps, en dehors des cas spéciaux d'*ouvriers d'art*,

on emploie le libéré à des travaux de fatigue, que n'aiment pas faire les Guyanais, tels : les travaux de terrassement et les travaux dans la vase, la culture maraîchère, l'entretien des routes, l'empierrement, le débroussage et le tracé des voies de pénétration dans la brousse, le bardage des matériaux, etc., etc.

Avant d'embaucher un libéré, il y a évidemment à lui demander *son livret*, que contresigne l'Administration pénitentiaire, et de plus, à se renseigner directement auprès de celle-ci sur la conduite de l'homme pendant son séjour au bagne, et auprès de la police de Cayenne et du Maroni sur la manière dont il a vécu depuis sa libération.

### 5° Relégués.

Il y a une catégorie spéciale de condamnés que l'on appelle des *relégués*. Ils n'ont pas le droit de quitter le territoire de l'Administration pénitentiaire, et même certains lieux bien spécifiés. Ce sont des malheureux, qui n'ont pas de crime inscrit à leur casier judiciaire : anciens vagabonds, chemineaux, mendiants, épaves des grandes villes, tous récidivistes endurcis de la correctionnelle.

En général, ces gaillards ne brillent pas par leur ardeur au travail, et nous ne préconisons nullement leur emploi, malgré leurs brillantes promesses et leurs protestations de dévouement. Peut-être, cependant, s'en trouve-t-il quelques-uns qui, dans les bois, en prospection, pourraient être utiles.

### 6° Les Ouvriers d'art guyanais et antillais.

Parmi les Martiniquais et les Guadeloupéens qui habitent la Guyane, il y a des *ouvriers d'art :* maçons, menuisiers, charrons, mais surtout des cordonniers. Ce dernier corps de métier doit être fort en honneur aux Antilles, car presque tout ouvrier de ce pays qui demande du travail spécifie qu'il sait travailler le cuir.

Mais si, mieux que le Guyanais, ils savent travailler le *cuir* et le *bois de sapin*, dont on fait un très grand emploi à la Guyane (et qui vient des États-Unis, entre parenthèses), s'ils sont aussi *meilleurs maçons*, en revanche, les Guyanais sont sans rivaux dans les travaux de *charpente des bois durs indigènes*, qu'ils travaillent avec une habileté et une dextérité tenant du prodige à l'aide de l'*herminette*.

Toutes les charpentes des anciennes maisons de Cayenne, dont certaines, en excellent état encore, durent depuis plus d'un siècle, sont en bois équarri à l'herminette, et le bois travaillé ainsi est aussi lisse que s'il avait été raboté.

La journée d'un bon ouvrier, à Cayenne, oscille entre 5 et 8 f. Nous faisons remarquer à nouveau que nous sommes dans *un pays aurifère très peu peuplé.* A l'intérieur des bois il y a, en plus, à fournir à l'ouvrier la nourriture et les objets de couchage, sans compter le transport, évidemment.

Là encore, comme partout d'ailleurs, mais particulièrement dans le cas spécial des ouvriers antillais et guyanais, *tant vaut le chef, tant vaut le travail produit.*

Ne jamais froisser l'amour-propre d'un homme qui croit avoir bien fait parce qu'il a fait ce qu'il a pu, et à qui la comparaison a toujours manqué pour apprécier et juger exactement la valeur relative de son travail. Toujours avoir soin de le reprendre doucement, en lui faisant bien comprendre où est la faute, et en lui indiquant soi-même, devant lui, avec ses propres outils, le moyen de la réparer. Il est inutile et mauvais de faire des dissertations scientifiques: prenez l'outil et opérez, c'est le meilleur moyen de bien vous faire comprendre. Peu à peu, l'ouvrier stimulé met son amour-propre (il en a beaucoup, même parfois trop) à s'appliquer à faire aussi bien que possible.

Dans les faibles agglomérations coloniales, l'Ingénieur doit apprendre à *être patient* s'il veut aboutir à un résultat. Par moments, il faut avouer qu'il a du mérite à savoir garder son calme. Mais, le bon mouvement donné et la confiance dans le chef acquise, vous pouvez compter sur la conscience et l'intelligence des Guyanais aussi bien que sur celles des Martiniquais. Nous ne voulons pas dire que toute surveillance devient inutile : évidemment, il y aura de temps en temps nécessité de mettre un peu d'huile dans les rouages, afin d'en entretenir le bon fonctionnement ; mais cela marchera aussi bien qu'on peut le souhaiter vu le peu de population.

### 7° Les nègres étrangers, des colonies anglaises principalement.

De la Barbade, de Sainte-Lucie et de la Guyane anglaise, viennent à la Guyane française des noirs solides, intelligents, aux mouvements vifs et décidés. Depuis la découverte des placers de l'Inini, il y a eu une immigration nombreuse et inquiétante

pour l'indigène, qu'ils remplacent sur les placers et à Cayenne même, à cause de leur entregent, de la modicité relative du salaire qu'ils réclament, et enfin, il faut le reconnaître, à cause de leur vivacité.

Il y a malheureusement des ombres à ce beau tableau. Menteurs et chapardeurs, essentiellement vagabonds, on les voit, tantôt musant *sur les quais* où ils chargent, déchargent et véhiculent les colis des chalands accostés, tantôt *cochers*, très habiles d'ailleurs, et soignant admirablement leurs bêtes, tantôt ouvriers d'un placérien qui les embauche et qu'ils quittent une fois transportés sur la mine. Ils se font alors, une fois rendus sur les lieux, *maraudeurs d'or*, avec l'argent, les outils et les vivres dont leur trop crédule patron a été forcé de consentir l'avance.

En général, ces beaux gaillards, splendidement campés pour la plupart, ne sont guère recommandables, en somme, sauf toutefois de rares exceptions. Nous en avons connu plusieurs, d'une scrupuleuse honnêteté et d'une véritable correction de gentlemen ; mais ceux-là sont bien rares.

### Exemples de la main-d'œuvre indigène et pénale.

Comme exemples de l'emploi de la main-d'œuvre à Cayenne, nous citerons les différents travaux que nous avons eu à exécuter. Notre but, impersonnel, est de prouver que, malgré des difficultés plus apparentes que réellès, on peut obtenir de beaux résultats.

Nous examinerons diverses natures de travaux qui, exigeant des aptitudes et des connaissances très variées, ont été menées à bien, grâce, d'ailleurs, au concours de nos dévoués collaborateurs du service des *Travaux publics*, dont l'intelligence, l'endurance et la bonne volonté méritent d'être signalés et à qui nous sommes heureux de témoigner ici notre gratitude pour l'aide efficace qu'ils nous ont apportée.

### A.

Tout d'abord les *travaux d'art mécaniques :* forge, serrurerie, carrosserie, menuiserie.

Dès notre arrivée, nous eûmes pour objectif la *création d'un noyau d'ouvriers* habiles, capables d'exécuter un travail difficile, délicat, exigeant de l'intelligence et certaines connaissances professionnelles : nous sommes heureux de déclarer que, dès

le début, après quelques tâtonnements inévitables, nous arrivâmes à un excellent résultat.

Nous citerons l'installation complète du *nouveau musée* de Cayenne : transformation complète de l'aménagement des salles, ameublement et peinture, et la réfection presque entière de l'hôtel du Gouvernement, bâtiment centenaire. Les écuries du Parc des Ponts et Chaussées furent entièrement remaniées et aménagées pour recevoir, dans des stalles nouvelles, quinze mules. L'*atelier*, constitué par nous, fabriqua de toutes pièces la grille en fer forgé de la porte d'entrée du Parc, à deux vantaux, de 4 m sur 4 m, beau travail de forge que ne désavouerait pas une bonne maison de construction de Paris. Avec ses propres moyens et avec un outillage entièrement confectionné par lui, l'atelier faisait lui-même aussi la construction et la réparation des véhicules nombreux du service : camions, cabrouets, victorias, breaks, etc., de même qu'il réparait les outils des divers chantiers de l'extérieur, notamment celui des carrières d'extraction des roches et des ateliers du nouveau mur des quais où fonctionnaient une machine à vapeur, un tour à métaux d'un délicat modèle possédant les perfectionnements les plus récents et un malaxeur à vapeur pour la fabrication des pierres factices des parements du mur de quai et des bordures de trottoirs. Signalons cette anomalie d'une fabrication de pierres artificielles dans un pays où le granit est la base du sol ! Il n'y a ni tailleurs de pierres ni piqueurs de pavés. Quand on veut avoir des bordures de trottoirs en pierres naturelles, on les fait venir de France !...

La construction du mur de quai a exigé le concours d'une main-d'œuvre nombreuse et variée :

1° *Forgerons et charpentiers* pour la fabrication des caissons en bois armés de ferrements;

2° *Hommes de peine* très vigoureux et très adroits pour l'extraction de la vase de l'intérieur des caissons, travail à la main très pénible que seuls pouvaient fournir des condamnés;

3° *Mécaniciens* pour la conduite de la machine à vapeur actionnant la pompe d'épuisement de l'eau des caissons;

4° *Maçons* pour les piliers des voûtes qui exigeaient une très grande rapidité d'exécution, à cause des marées, et une dextérité, une habileté toutes spéciales. Nous avons dit qu'un seul homme, un libéré italien, avait fait près de 2000 m³ de maçonnerie dans les conditions difficiles que nous avons signalées;

5° *Menuisiers* pour la confection et la pose des cintres des voûtes;

6° *Ouvriers spéciaux* (c'étaient des condamnés) pour la fabrication des arcs en *sidéro-ciment*, construction absolument inconnue jusqu'alors en Guyane, et que nous avons été forcé d'employer par économie;

7° *Mécaniciens électriciens* pour l'éclairage du chantier par des *lampes à arc*, les premières que la colonie voyait fonctionner;

8° *Ouvriers* pour la pose d'une *voie ferrée* de plus de 2 km, pour amener d'une manière plus rapide, plus économique, plus commode, les roches extraites de la carrière située en dehors de la ville jusqu'au chantier des quais;

9° *Carriers* (condamnés et libérés) exploitant à la dynamite cette dernière dont, en dix mois, ont été extraits plus de 4 000 m³ de pierres de construction.

Etc., etc.

Tels sont les principaux résultats obtenus par *l'établissement de l'atelier du Parc des Ponts et Chaussées*, créé entièrement avec les éléments choisis et recrutés sur les lieux : l'activité et le dévouement de ce personnel d'élite augmentaient tous les jours. Le rendement pratique obtenu devenait de plus en plus intéressant et satisfaisant : mécaniciens, forgerons, charrons, menuisiers et charpentiers se perfectionnaient de plus en plus et prenaient goût à ces travaux nouveaux pour eux et dont l'intérêt provoquait leur zèle. *Il est donc surabondamment prouvé par l'expérience* que ces corps de métiers, à la Guyane, *peuvent se recruter* soit parmi les *Guyanais*, soit plutôt parmi les *Antillais*, Martiniquais et Guadeloupéens, soit enfin parmi les *condamnés* et les *libérés européens*.

B.

Pour les travaux de débroussage, de voies d'accès dans les bois et de canaux de desséchement des marécages, la *seule main-d'œuvre pénale* peut être utilisée économiquement : la création en quelques mois du *centre de Montjoly* en est un bel exemple, sans précédent dans l'histoire de la colonie.

Un autre exemple de cet emploi de condamnés est la confection, en moins de deux semaines, d'un *chemin* reliant le Lazaret de Larivot à la route Nationale, au droit du « pont de la Crique Fouillée. »

Une équipe de vingt hommes, sous la conduite d'un surveil-

lànt militaire a percé un chemin de 4 (quatre) km et jeté 5 (cinq) ponceaux de bois sur des cours d'eau traversant la voie créée. La route, évidemment, était bien primitive; néanmoins elle a largement suffi au but qu'on en attendait : le ravitaillement, par terre, du Lazaret, qui put ainsi, au moment de l'épidémie de fièvre jaune, être entièrement remis en état, bâtiments, cours et enclos, au moyen de matériaux que des véhicules transportaient par le nouveau chemin, concurremment avec des chalands arrivant par la voie maritime beaucoup plus lente.

Cette voie de terre permettait de se rendre au Lazaret directement et quel que fût l'état de la mer qui, jusque-là, avait souvent empêché Cayenne de communiquer en temps opportun avec son Lazaret, sauf par le téléphone que nous y avions établi.

Nous citerons deux exemples de terrassements faits pendant notre séjour.

Le premier travail, appelé « Digue Bouniq » a 200 m de longueur, 3,50 m de plate-forme et 3 m de hauteur moyenne. C'est un remblai en terre argileuse traversant un marécage et qui sert de chemin d'accès de la grande route à la mer : c'est une voie carrossable.

En deux mois, vingt condamnés ont exécuté, en 1901, ce travail conduit par un surveillant militaire, le même que celui du Lazaret de Larivot.

Le deuxième remblai, de 400 m de longueur, est une *digue de protection* contre l'envahissement de la mer, de tout un quartier de la banlieue sud de Cayenne. Il a plus de 3 m de largeur de plate-forme et une hauteur moyenne de 2,50 m. Du côté de la mer il est protégé par un mur de pierres liaisonnées au mortier de ciment. Le mur est construit sur la vase dure, fondation encastrée que n'atteignent jamais les infiltrations d'eau. Nous ne pouvions songer à fonder sur le bon sol rocheux : nous savions pertinemment qu'autrefois (il y a deux siècles) les frégates royales étaient venues s'embosser à cet endroit où il y avait 15 m de profondeur d'eau. D'autre part, nous avons dit notre sentiment sur la question des pilotis à la Guyane. Ce travail a été fait, remblai et mur, en l'espace de 7 (sept) mois, malgré les difficultés de la marée. C'est *le seul exemple*, à notre connaissance, de remblai exécuté à la Guyane par la main-d'œuvre libre. Il est vrai d'ajouter que les manœuvres étaient des noirs venus des Antilles anglaises.

Ce remblai, appelé *Digue Le Blond*, a été commencé le même

jour que le mur de quai. Il fut achevé quelques mois avant celui-ci dont l'exécution était beaucoup plus pénible.

Il faut signaler comme exemples de difficultés techniques heureusement surmontées, grâce à l'intelligent dévouement des ouvriers du pays, aidés de la main-d'œuvre pénale :

1° Le canal-déversoir du lac du Rorota. C'est un couloir en maçonnerie de 200 m de longueur et de 2 m environ de largeur. Il sert à l'écoulement du trop-plein du lac de 3 ha de superficie formé par une digue en terre argileuse de 10 m de hauteur et 100 m de longueur. Le travail de maçonnerie de ce canal aux courbes nombreuses, tant en plan qu'en profil, afin d'amortir la violence du courant de l'eau, a été très difficile;

2° Un *escalier de 750 marches* sur le talus argileux à pic de la même montagne du Rorota, qui était absolument impraticable dans la saison des pluies, c'est-à-dire au moment où la surveillance devait être le plus active sur les lacs, réserve d'eau d'alimentation de Cayenne: travail exécuté en trois semaines par quelques condamnés, y compris le gazonnement de soutènement des terres encaissantes;

3° La construction de la « Digue Régis » dont la vanne-porte permet le dessèchement de plus de 50 ha de terrains noyés, admirablement fertiles, rendus à la culture. Le bassin maçonné fut très pénible à exécuter au milieu des sables, à cause des infiltrations des eaux de mer. De même fut très difficile la pose, à 2 et 3 m de profondeur de tranchée en plein sable, de la tuyauterie double, de 100 m de longueur, de la canalisation en fonte de 0,300 m de diamètre;

4° Citons enfin la mise en place d'un pont métallique Eiffel, de 22 m de portée, à la Crique Fouillée, ainsi que la construction de différents ponceaux en sidéro-ciment.

Il y a beaucoup, il y a tout à faire à la Guyane. Nous avons voulu montrer que la main-d'œuvre ne manque pas : le tout est de savoir la recruter et bien l'utiliser. Les exemples précédents, bien que leur importance ne soit pas considérable, montrent toutefois — et c'est ce que nous voulions prouver, — qu'on peut arriver à travailler plus facilement qu'on n'eût pu le supposer, *a priori*, dans un pays d'or où la population n'atteint pas un habitant par 4 km².

## CHAPITRE III

## Étude sur les produits naturels. Pierres, terres, arbres de la Guyane. Leur emploi dans les constructions et dans les travaux.

### PIERRES.

Les *mornes* de la Guyane sont constituées par diverses catégories superposées de la même roche primitive, le *gneiss*, à différentes périodes de désagrégation. Le granit est superbe : bleuâtre avec des grains noirs et blancs : c'est la roche *grison* du pays (diorite), qui se transforme en *roche à ravet* (limonite), laquelle à son tour se décompose en sable, mica, feldspath, alumine, etc. On pourrait faire d'excellentes bordures de trottoirs avec la roche grison. Mais faute d'ouvriers tailleurs ou scieurs de pierres, on fait venir de France des bordures en pierres dont le grain et la qualité sont bien inférieurs à ceux des pierres du pays.

Si on exploitait les pierres granitiques très abondantes dans les montagnes et sur les bords de la mer, on pourrait faire des routes, des rues et des maisons magnifiques. Mais on rencontre des difficultés de transport, de main-d'œuvre et surtout une apathie bien difficile à vaincre. Aussi n'y a-t-il vraiment que le service des Travaux publics qui exploite des carrières afin d'avoir des moellons pour certains travaux solides et du cailloutis pour le macadam des routes principales.

On rencontre aussi dans la montagne une bonne pierre de construction de couleur gris fer, très dure et très lourde, se cassant suivant des plans très nets, sans renflement, ni trou, et dont le mastic de liaison des grains est verdâtre.

Dans le gneiss quelques roches formant filons constituent de véritables marbres aux veines merveilleusement teintées, ce sont d'excellentes pierres de construction. On trouve aussi de nombreux échantillons *de quartz*, aurifère ou non, ainsi que de magnifiques échantillons de *granits colorés*, entre autres un de contexture et de couleur identiques à celles de l'obélisque de la place de la Concorde.

La *roche à ravet*, véritable minerai de fer, puisqu'elle renferme près de 70 0/0 de peroxyde de fer, tire son nom de ce que sur les bords de la mer, elle sert de refuge, par ses cavités, à une quantité de cancrelats, « ravets » du pays. Elle ressemble assez comme aspect à la meulière de France. On en construit des chaussées, mais c'est une faute de l'employer seule ainsi, car elle se transforme en boue qui adhère fortement aux souliers des piétons et aux roues des véhicules, pendant la saison des pluies, et en été la poussière rougeâtre est extrêmement désagréable pour les voyageurs; sans compter que son effet sur les pneus des bicyclettes et des automobiles, aussi bien que sur le cuir des chaussures est identique à celui d'une véritable limaille de fer qui attaque et détruit rapidement cuir et caoutchouc.

Pour faire les chaussées, en Guyane hollandaise, on emploie de la vase qui a été traitée en vase clos : on obtient ainsi une espèce d'asphalte; à la Guyane française autrefois, on fabriquait les chaussées en mélangeant dans certaines proportions dé la roche à ravet pulvérisée, du sable et de la vase. Certaines de ces chaussées sont encore bien conservées. Aujourd'hui on emploie le « macadam ». Cela coûte très cher et demande beaucoup de temps. Il serait intéressant d'expérimenter le « goudronnage » à la Guyane.

La « roche à ravet » a une autre propriété remarquable. Par sa porosité, elle forme éponge d'eau et constitue un filtre excellent. Chaque habitant possède un filtre en roche à ravet.

### Terres argileuses.

On trouve en tous les points de la Guyane des couches profondes de splendide *kaolin*, mêlé avec des parcelles de mica.

Partout aussi, peut-on dire, on rencontre des argiles de grande valeur marchande : argiles de *potier*, de *sculpteur*, de *mouleur*, *terre à four*, etc. Nous avions réuni une collection complète d'échantillons d'argiles où toutes les couleurs étaient représentées, avec les gammes de transition, depuis le blanc pur jusqu'au rouge vif, en passant par le gris, le bleu, le jaune et le vert.

Avec l'argile, à la Guyane, on pourrait fabriquer des briques, des tuiles et des poteries excellentes. Les anciens, d'ailleurs, savaient en tirer parti. Il y a certaines maisons à Cayenne dont la toiture en tuiles date de plus de cent ans et qui sont en très bon état de service. Aujourd'hui les fours à briques sont très défectueux et le

produit s'en ressent aussi : les « briques du pays » ont une réputation assez médiocre.

En tous cas, les briques importées, qui proviennent des déchets et des rebuts de Marseille ne sont guère meilleures. Il y aurait donc intérêt à fabriquer dans le pays ces produits avec les excellents matériaux qui abondent.

Les tribus indiennes et quelques rares Guyanais des communes s'occupent encore de la confection de poteries : le four est un trou creusé dans la vase et sur lequel après l'avoir comblé on entretient le feu nécessaire à la cuisson. L'enduit final est un vernis obtenu par la manipulation gardée secrète d'écorces et de plantes. On fabrique ainsi des poteries en forme d'animaux, oiseaux, serpents, caïmans, etc., plats et casseroles dans lesquels on peut faire la cuisson d'aliments. Quant aux gargoulettes, très poreuses, faites par les Indiens et les créoles guyanais, elles tiennent l'eau bien fraiche et sont très recherchées.

### Bois.

Aux XVII[e] et XVIII[e] siècles, il y avait de grandes exploitations de bois à la Guyane. On élevait des bâtiments magnifiques et les constructeurs, tout en ignorant la descriptive de la charpente et l'analyse mathématique de la résistance des matériaux, parvenaient à faire tenir leurs constructions plus longtemps que nous les nôtres. Il est vrai d'ajouter qu'ils ignoraient aussi l'entreprise et les rabais d'adjudication. La construction coûtait cher et mettait longtemps à se faire, c'est vrai, mais elle se faisait et se faisait si bien, que certains édifices en bois séculaires résistent encore parfaitement. Les matériaux du pays étaient donc d'excellente essence : c'est tout ce que nous voulons retenir actuellement pour la question des bois.

Comment se fait-il donc qu'aujourd'hui des essais isolés tentés récemment et entre autres avec une scierie mécanique, aient échoué ? Nous avons répondu déjà en traitant la question de la main-d'œuvre : la faute n'en saurait incomber au pays.

On objectera qu'à la Guyane on ignore les futaies, les taillis, les pépinières, etc., c'est-à-dire la *culture* des grands arbres de construction, et que le *charpentier de haute futaie* abat et débite au petit bonheur tous les arbres qu'il rencontre et qui lui paraissent bons. On prétend que les essences sont plus ou moins bonnes suivant le terrain où elles ont poussé et que deux arbres

peuvent difficilement se ressembler par suite de la nature du sol et de leur orientation dans la même ou dans différentes forêts, des variations climatériques, de la richesse et de la pente variables des terres, de leur exposition au soleil, aux vents, à la pluie. De plus, suivant les saisons à sécheresse trop forte ou à pluie trop persistante et trop violente, les couches concentriques diffèrent : les fibres ne sont pas parallèles : presque tous les gros arbres sont roulés, etc. Si on débite, par exemple, certains troncs en madriers ou en planches, s'ils ont plus de 30 à 40 cm de diamètre on constate que le milieu de l'arbre est vide. Il faudrait donc abattre sans plus tarder les arbres de ces essences qui ont atteint ce diamètre, et faire cet abatage à une lunaison favorable à cause du travail de la sève.

Toujours par rapport à la sève avant le transport des bois, il faut prendre la précaution, que ne négligeaient pas les anciens colons, de *les faire tremper trois ou quatre mois* dans l'eau courante de la « crique », avant de les expédier. Aussi, autrefois, il n'y avait ni déchet, ni gauchissement ultérieur.

Le travail des bois ouvrés réussissait parfaitement jadis avec des moyens et des instruments des plus rudimentaires : pourquoi n'en serait-il plus de même aujourd'hui, avec les machines perfectionnées de l'industrie ?

Le transport ancien par bras d'esclaves ne serait-il pas avantageusement remplacé par l'électricité à vil prix, avec les chutes d'eau, les sauts, les courants, etc., par les voies Decauville, les transmissions funiculaires, par câble aérien, télédynamique ?

Autrefois, on agissait : voilà la vérité. Aujourd'hui, on se lamente et on ergote sur les difficultés. Est-ce un moyen bien pratique de recouvrer la splendeur du passé disparue ?

Pour les *bois de construction*, on rencontre il est vrai, maintenant, des difficultés de recherches, d'abatage, d'approche à la mer, d'exploitation : il y a dans l'écoulement du produit parfois des mécomptes pour qui ne connaît pas bien la situation économique du pays. Mais, pour les *bois de luxe*, pour les bois *d'ébénisterie* dont les essences sont si nombreuses et si riches, objectera-t-on aussi l'impossibilité du travail et du bénéfice, la mévente, etc. On sait combien sont recherchées ces rares essences tropicales, surtout celles qui ont la gamme admirable de tons et la contexture des veines et du grain des bois tout spéciaux à la Guyane.

Voici, d'après la classification des Ponts et Chaussées, la division des bois de construction de la Guyane.

*Bois de construction.*

| PREMIÈRE QUALITÉ (BOIS DURS) | DEUXIÈME QUALITÉ (BOIS TENDRES) |
|---|---|
| *Wacapou* franc (bruin hart de Surinam) (andira aubletii).<br>*Wacapou* guétin.<br>*Balata* franc (mimusops balata).<br>*Mâho*, noir, rouge.<br>*Bois violet* (peltogyne venosa).<br>*Ébène verte* (tecoma leucoxylon).<br>*Cœur dehors* (diplotropis guianensis).<br>*Rose mâle* (licaria guianensis).<br>*Saint-Martin.*<br>*Cèdre noir*, nectandra pisi.<br>*Schawari* (caryocar, rhizobolèes).<br>*Bois lézard.*<br>*Wapa gras* (eperua falcata).<br>*Macaoua.*<br>*Courbaril* (hymenea courbaril). | *Grignon franc* (bucida augustifolia).<br>*Grignon jaune* (qualea cœrulea).<br>*Cèdre jaune* (aniba guianensis).<br>*Bois rouge.*<br>*Angélique* (dicorenia paraensis).<br>*Sassafras* ou *Rose femelle* (acrodiclidium chrysaphyllum).<br>*Carapa* (carapa guianensis).<br>*Pagelet.*<br>*Cèdre bagâsse* (icica altissima).<br>*Langoussi* (terminalia tanibouea). |

*Bois de carrosserie.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Schawari.*<br>—<br>(Caisse). | *Balata.*<br>—<br>(Rais). | *Cœur dehors.*<br>—<br>(Moyeu). | *Bois violet.*<br>—<br>(Jantes, brancards). | *Gaïac.*<br>—<br>(Moyeu et engrenages en bois). |

*Bois d'ébénisterie dits « bois de couleurs ».*

Le *moutouchy de montagne* (moutouchi suberosa) le plus beau des bois du monde : jaune, noir, blanc, vert, multicolore et aux tons changeants suivant la direction des rayons lumineux.

L'*ébène noire*, d'un noir luisant.

Le *cèdre jaune*, d'une belle couleur dorée.

Le *wacapou*, ressemble assez au chêne, mais a un grain plus fin et de plus belles fibres.

Le *Saint-Martin* a l'aspect du wacapou, mais avec des pointes de rouge.
Le *satiné rubané* (ferolia guyanensis), brun rouge clair avec veines noirâtres (miroitantes).
Le *chêne tigré*, aux rayures noires.
Le *boco marbré*, (bocoa prouacensis) jaune et noir par petites plaques.
Le *bois serpent* aux taches noires zébrées de blanc et de jaune.
Le *lettre moucheté* (piratinea guyanensis), brun rouge foncé, parsemé dc mouchetures noires.
Le *bois Bagot*, (légumineuse), aubier blanc, cœur d'une belle couleur pourpre.
Le *pânacoco* (robinia guyanensis), cœur noir, aubier blanc.
L'*acajou* (de Cayenne) (cedrela guyanensis).
L'*acajou* du Honduras ou de Saint-Dominique (swietenia mahogany).
Le *pâtawa* (œnocarpus patâwa), moucheté jaune et noir.
Le *bois violet* (légumineuse : deux espèces), d'une couleur uniforme violette.
L'*ébène soufrée* est une zygophyllée, à la section marbrée de taches jaunes.

Les bois de la Guyane sont d'un grain tellement serré que l'humidité, cependant si forte, de l'atmosphère du pays, ne peut les pénétrer, et reste à la surface comme sur des carreaux vernissés. Il est curieux de voir, le matin, un escalier à l'intérieur d'une maison, mouillé comme si on avait répandu de l'eau sur les marches.

Ce n'est qu'en certains points de la Colonie, à Sinnamary, par exemple, qu'on peut se procurer du bois *courbé* naturellement. Partout ailleurs, le bois est droit: c'est avec les *cœurs* des troncs d'arbres, et non avec les branches, comme on serait assez porté à le penser, que sont faites les cannes, si recherchées, en bois précieux du pays.

Les charpentiers guyanais sont d'une habileté remarquable pour l'équarrissage des bois durs de charpente au moyen de l'*herminette*. Le travail achevé, la pièce paraît avoir été rabotée, tellement elle est unie. La sûreté du coup est étonnante: prenant l'herminette à deux mains, le pied nu placé sur la pièce au droit du point précis où ils vont frapper, ils débitent le bois sans jamais le moindre écart en profondeur ou en plan, avec une régularité mathématique.

Un des grands défauts des *bois de charpente* à la Guyane est le

manque d'homogénéité dans les différentes sections transversales : le ligneux et l'aubier ne sont pas répartis uniformément suivant la longueur. Ainsi que nous l'avons signalé, cela tient au terrain, plus ou moins riche suivant les saisons, au milieu de la forêt dans lequel l'arbre a poussé, et surtout au régime des pluies de la Guyane, régime essentiellement irrégulier. La pluie et le vent frappent plus ou moins, et à diverses hauteurs, l'arbre, suivant l'entourage qui l'abrite, et selon son degré de croissance. Il s'ensuit qu'il est bien rare de trouver dans un tronc, une fois débité, des fibres absolument parallèles. De là un déchet considérable lors de l'équarrissage, et une diminution notable de la résistance, car les fibres forcément sectionnées dans le débit n'ont plus la qualité que l'on est convenu d'accorder à l'essence travaillée (la force des bois varie de 500 à 200 kg).

L'aspect du tirant, de la panne, de la poutre ou du poteau y gagne en pittoresque, à cause des couleurs variées des couches alternées des veines plus ou moins courbes, mais la solidité en est d'autant diminuée. Il ne nous a pas paru qu'on en tînt compte dans les constructions actuelles : c'est une faute.

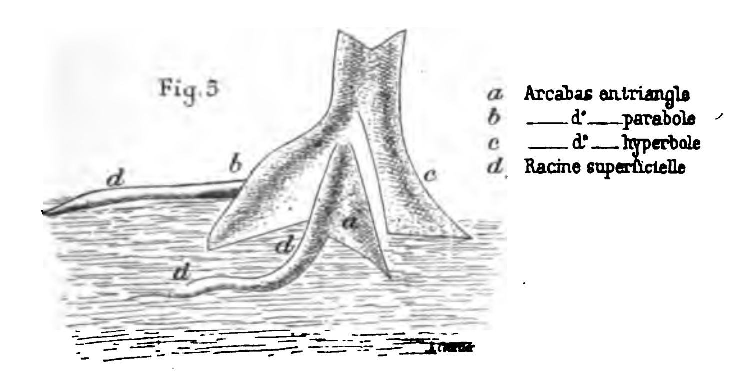
Ce vice de contexture de fibres tourmentées, grave pour les charpentes de bâtiment, est, par contre, une qualité recherchée pour les bois d'ébénisterie, et c'est ce qui fait la valeur réputée des « bois de couleur » de la Guyane.

A la fin de l'été, lorsque les arbres tombent, nombreux, c'est un signe de l'approche des *pluies d'hivernage*. C'est un indice précieux pour les cultivateurs, qui ignorent, aujourd'hui que les saisons ne sont plus, comme autrefois, nettement tranchées, l'époque exacte à laquelle ils doivent couper et préparer leurs abatis. Jadis, on brûlait les bois avant la Toussaint, c'est-à-dire vers septembre-octobre. Aujourd'hui, c'est un peu au hasard.

La question des arbres guyanais qui deviennent creux au bout d'un certain nombre d'années, serait intéressante à étudier soigneusement : faut-il faire entrer en ligne de compte les grandes sécheresses qui, sans action pendant un certain temps sur les sujets jeunes et forts, sont dangereuses à la longue pour l'arbre affaibli, moins résistant avec l'âge? Peut-être la sève, si puissante au début, ne peut plus, à une certaine époque, étant donné le grain serré du bois et son excessive dureté, passer entre le ligneux et l'aubier, et pourrit ainsi dans l'axe de l'arbre, qu'elle creuse?...

Les arbres, à la Guyane, sauf une seule exception à notre con-

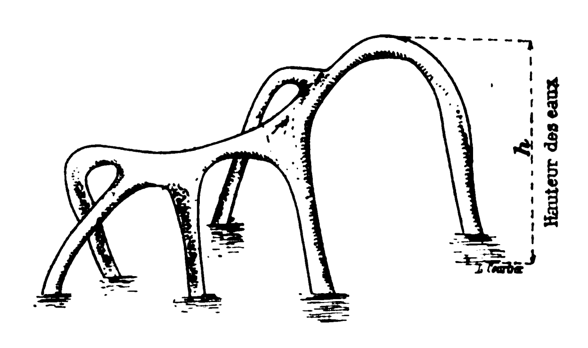
naissance, le palétuvier (ou manglier), n'ont pas de racine pivotante. Ils ne peuvent prendre racine à l'intérieur du sol. La terre est trop dure en été; elle est trop délavée pendant la saison des pluies, et les matières nutritives sont entraînées par les eaux. Aussi, suivant la loi de l'adaptation au milieu, les racines s'étendent en surface, ne pouvant pénétrer en profondeur, et,




par leurs ramifications étendues sur le sol, elles constituent le polygone de sustentation de l'arbre. Elles forment de véritables solides d'égale résistance, contreforts pleins ou évidés en triangles, paraboles ou hyperboles rentrantes ou bombées, afin de lutter contre l'action des pluies et du vent *(fig. 5)*.

Fig. 6

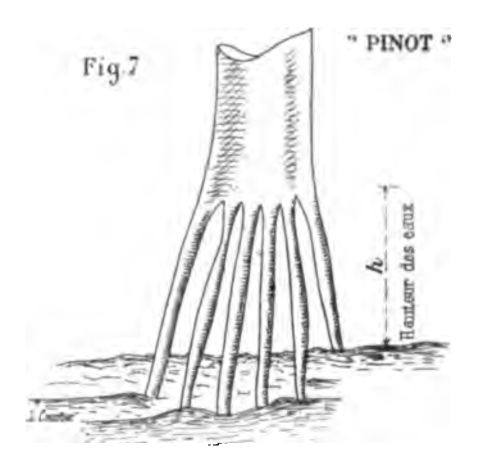
" JAMBES DE CHIENS "




Suivant l'orientation de ces racines adventives superficielles, on peut, par une observation assez rapidement acquise, déterminer la direction des vents dominants dans la région, l'inclinaison

d'éboulement des terres, et déduire la consistance des terrains par la relation entre la force des contreforts, ou *arcabas*, et celle des racines souterraines ou courant sur le sol.

Dans les montagnes, les marécages sont caractérisés par deux natures de plants : le « pinot », palmier avec le tronc duquel on fait de bonnes pannes pour les couvertures en *bardeaux*, et les racines de « l'awara », nommées dans le pays *jambes de chien*, à cause de leur forme incurvée *(fig. 6 et 7)*. La grandeur de ces racines au-dessus du sol indique le niveau maximum des eaux de pluie tombées dans la cuvette, au milieu de laquelle elles




poussent. Leur hauteur, par comparaison avec celle d'analogues dans d'autres lieux, détermine la plus ou moins grande perméabilité du sol, et leur grosseur, la plus ou moins grande fréquence des pluies de l'endroit.

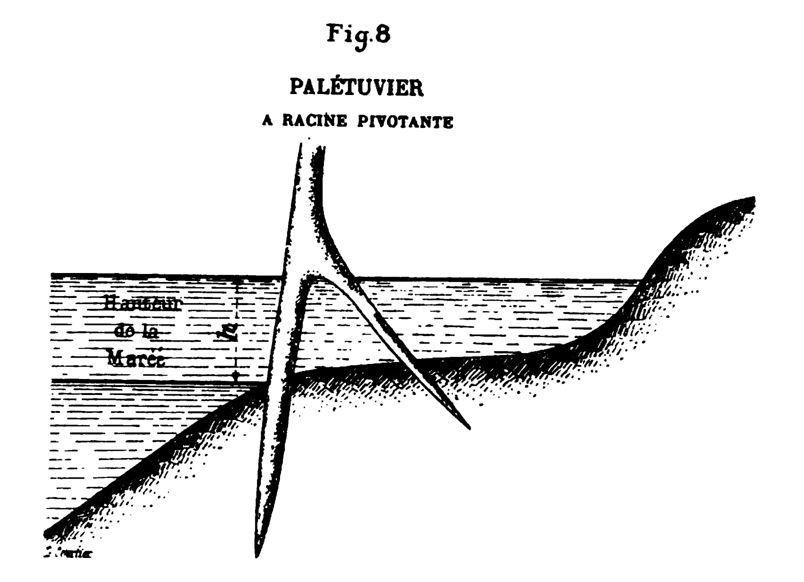
Il est remarquable que ces deux arbres cessent brusquement quand on arrive au terrain de consistance imperméable encaissant le marécage ; c'est surprenant de netteté.

De même, dans les fleuves et les rivières, on voit le *palétuvier* et le « moucou-moucou » *(caladium giganteum)* disparaître sitôt qu'on arrive à un endroit où la marée ne se fait plus sentir *(fig. 8)*.

On reconnaît la hauteur de la marée, là où pousse le palétuvier, par la bifurcation où les racines supérieures se détachent du tronc.

Sur certains arbres de la Guyane, tels que les manguiers et les amandiers, on voit des *herbes* et des *plantes parasites*, aux feuilles

tantôt petites, tantôt larges, tantôt longues, et des *lianes* tombantes greffées directement sur les branches de l'arbre. Elles prènnent leur suc nourricier sur la sève directe des branches. N'ayant aucun contact avec le sol, elles semblent vivre d'air et




de rosée. En réalité, ce sont de voraces parasites qui, en toute autre région que sous le climat d'exubérante vitalité de la Guyane, feraient vite périr leur tuteur.

Dans les forêts et le long des cours d'eau, on voit ainsi, accrochées aux branches des arbres, de splendides orchidées.

## CONCLUSION

La Guyane a droit à un rang prépondérant parmi les plus belles colonies du monde. Ses merveilleuses richesses minières, ses forêts de bois précieux, sa flore sont sans rivales.

Le relèvement de son industrie, de son commerce, le retour à la splendeur ancienne de la *belle France équinoxiale* des XVII[e] et XVIII[e] siècles, dépendent aujourd'hui d'éléments dont nous avons esquissé à grands traits l'emploi raisonné, et *principalement de la main-d'œuvre pénale.*

Puissent ces quelques notes appeler et retenir l'attention de l'élite intelligente qui songe à l'avenir de *la plus grande France.*

La Guyane ne mérite pas la réputation d'insalubrité que l'on a voulu attacher à son nom et qui, seule jusqu'à présent, l'a écartée de toute combinaison financière pour son relèvement.

Il était du devoir d'un Français, après un séjour de trois ans dans cette merveilleuse région, de dire ce qu'il avait vu là-bas, et d'indiquer la place qu'il y a pour les énergies sans emploi ou si faiblement rémunérées dans la métropole.

Nous sommes heureux d'exprimer notre vive gratitude à la Société des Ingénieurs Civils de France, qui nous a permis, par son aimable hospitalité, de nous acquitter de cette agréable mission.

Nous aimons cette belle contrée, et notre plus cher désir serait de la voir renaître à son ancienne prospérité, que décupleraient les méthodes d'investigation et d'exploitation modernes, appliquées avec intelligence et esprit de suite, après adaptation aux coutumes locales, négligées, bien à tort, jusqu'à présent.

---

# LE RADIUM ET LA RADIOACTIVITÉ

PAR

**M. Paul BESSON**

---

Si je reviens sur la question du radium, que j'ai déjà eu l'honneur de traiter devant la Société des Ingénieurs Civils, en avril 1901, et en mars 1903, c'est qu'elle a acquis, depuis cette époque, une renommée universelle et que le temps m'a manqué pour traiter certains points avec toute l'ampleur nécessaire.

Quand je parlais du radium en 1901, et que j'exposais les travaux de M. et Mme Curie, beaucoup de personnes ignoraient l'existence du nouveau corps; j'aime cependant à me rappeler le nombreux auditoire qui me fit le grand honneur d'assister à la séance, la discussion intéressante à laquelle prirent part M. le président Couriot et notre regretté collègue M. Casalonga.

La constance de la production d'énergie du radium avait fait naître, à l'origine, quelques doutes sur les principes de la conservation de la matière et de l'énergie, que l'on considérait comme les assises inébranlables de la science. Je m'étais bien gardé, cependant, d'entrer dans une voie aussi dangereuse et je rappelle quelques phrases de ma première communication.

« La spontanéité du rayonnement reste une énigme, un sujet » d'étonnement profond. La source de l'énergie des rayons de » Becquerel, est-elle dans les corps radiactifs eux-mêmes ou » bien à l'extérieur ? On pourrait admettre que les rayons de » Becquerel sont une émission secondaire, due à des actions » analogues aux rayons X, traversant tout l'espace et tous les » corps.

» Dans le premiers cas, l'énergie pourrait être empruntée au » milieu ambiant sous forme de chaleur, mais c'est une hypo- » thèse en contradiction avec le principe de Carnot.

» Dans le deuxième cas, nous nons trouvons en présence de » l'hypothèse balistique de sir W. Crookes et J, J. Thomson » pour expliquer les propriétés des rayons cathodiques.

» Il y a émission de matière pouvant traverser les corps ma- » tériels; cela ne peut être ni un gaz, ni une vapeur, ce n'est

» pas une molécule, mais un atome dissocié. Cela serait une » forme ultime de la matière, telle que les corps pourraient » en émettre indéfiniment sans perdre sensiblement de poids.

» Ces particules se conduisant comme un courant électrique » au point de vue de la déviation, prouvent qu'elles sont animées » d'une extrême vitesse.

» Nous nous trouvons dans un champ d'étude tout nouveau, » en présence d'une forme de la matière toute différente de celle » étudiée en chimie.

» Cela nous conduira, peut être dans la suite, à admettre d'une » façon évidente l'unité de la matière.

» Nous avons vu que la propriété des corps radioactifs était » atomique : est-ce là une propriété particulière à un certain » nombre de corps? Nous ne le croyons pas. »

Maintenant, nous pouvons affirmer que la seconde hypothèse semble vérifiée ; nous pouvons, en effet, observer la décomposition de l'atome.

Dans la seconde communication, que j'ai eu l'honneur de faire en mars 1904, j'ai parlé de l'hypothèse de Jean Perrin, qui conçoit l'atome comme un système solaire minuscule, où des particules chargées d'électricité négative et tournant avec une grande rapidité autour d'un soleil en miniature chargé positivement, peuvent s'échapper de la zone attractive et devenir des corpuscules cathodiques.

On peut voir dans le petit appareil appelé Spinthariscope de Crookes la projection des corpuscules cathodiques émis par un grain de radium.

Le nom de radium, qui n'était connu que de quelques personnes, jusqu'en décembre 1903, fut bientôt dans toutes les bouches: le public fit sa découverte après que l'Académie royale de Stockholm eut décerné à M. et M[me] Curie, et à M. Becquerel, le prix Nobel de physique.

Ce fut une véritable rage d'articles de journaux, de photographies, d'interviews. En décernant à M[me] Curie, le prix Osiris, le Syndicat de la Presse parisienne, voulut faire pardonner l'oubli dans lequel on avait laissé les modestes savants, et le peu de concours qu'ils avaient reçu pour leur découverte.

Pendant la période comprise entre 1899, date de la découverte, jusqu'en décembre 1903, 11 t de résidus de pechblende, de Joachimsthal, ont été traitées sous ma direction dans l'usine de la Société centrale de Produits chimiques, grâce aux sacrifices consen-

tis par cette Société et quelques milliers de francs donnés par la Société d'encouragement à l'Industrie nationale, l'Académie des Sciences et un anonyme; grâce, enfin, à une somme de 20.000 francs prise sur le legs Hubert-Debrousse, et donnée par l'Académie des Sciences à M. et Mme Curie. Ces derniers voulurent bien nous adresser publiquement des remerciements pour les services que nous avons été heureux de rendre à la science, d'abord au Congrès de physique de l'exposition de 1900, puis en juin 1903 dans la thèse de doctorat soutenue par Mme Curie, enfin dans une lettre que M. Curie m'a adressée personnellement à la fin de 1903.

Le Jury international de St-Louis, nous a décerné un grand prix pour notre exposition, où il n'y avait absolument que du radium. C'est moins certainement l'exposition que l'on a voulu honorer que l'œuvre accomplie.

Après ce préambule, voici les questions que je vais traiter, en passant rapidement sur les points que j'ai déjà exposés antérieurement :

1° Découverte de la Radioactivité; méthode d'investigation, appareils et minerais;
2° Traitement des minerais et préparation du radium;
3° Composition du rayonnement émis par le radium;
4° Actions physiques, chimiques et biologiques;
5° Radioactivité induite; eaux et gaz radioactifs.
6° Décomposition du radium; source de son énergie; hypothèses et généralités.

## 1° Découverte de la radioactivité. Méthode d'investigation — Appareils et minerais

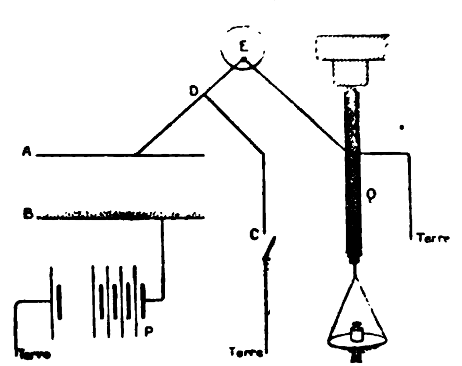
La découverte de la Radioactivité, a comme origine une hypothèsé erronée de M. Poincaré, qui, en 1896, émit l'opinion que la source des rayons X était dans la belle fluorescence verte, produite dans le verre de l'ampoule de Crookes; à son idée toute substance fluorescente devait émettre des rayons X, sous l'influence quelconque qui viendrait l'illuminer. M. Henri Becquerel, partant d'un travail de son père Edmond Becquerel, sur la fluorescence des sels d'uranium fit l'expérience suivante : ayant placé sur une plaque photographique enveloppée de papier noir, des cristaux de sulfate d'uranium, il exposa le tout au soleil. Le

développement de la plaque montra l'image des cristaux. M. Becquerel communiqua ce résultat à l'Académie des Sciences, le 24 février 1896. Il voulut recommencer l'expérience, mais faute de soleil, n'ayant pu exposer la plaque, il se décida cependant à la développer et constata toujours une impression photographique intense (Académie des Sciences, 2 mars 1896).

C'est en voulant démontrer un principe faux, que l'expérience a conduit à la révélation d'un phénomène inconnu, qui était la *Radioactivité*. Tout d'abord, M. Becquerel hésita à interpréter ce phénomène et se demanda, si le sel d'uranium ne rendait pas peu à peu le rayonnement précédemment absorbé, se comportant comme un corps phosphorescent, vis-à-vis des rayons lumineux.

Il refit l'expérience avec des cristaux de sulfate d'urane soustrait à l'action de la lumière, et toujours l'action photographique fut aussi intense. Il conclut que le sel d'urane était le siège d'une émission de radiations spéciales, qui furent désignées sous la dénomination de « *Rayons de Becquerel* ». Poursuivant son étude, M. Becquerel montra, le 7 mars 1896, que les rayons émanant de l'uranium, déchargeaient les corps électrisés, se comportant comme les rayons cathodiques; il montra également que les composés de l'uranium étaient tous radioactifs, que c'était là une propriété atomique, et qu'un sel était d'autant plus radioactif, qu'il était plus riche en *uranium*. M^me^ Curie entreprit alors l'étude des minéraux que l'on pouvait présumer être radioactifs. Voici la méthode très ingénieuse et toute nouvelle, qui fut imaginée par M. et M^me^ Curie.

On mesure la conductibilité acquise par l'air, sous l'influence de l'émission des rayons de Becquerel. La substance pulvérisée est étalée sur le plateau B d'un condensateur A B, l'air entre les plateaux est rendu conducteur. Pour mesurer cette conductibilité, on opère de la manière suivante; on porte le plateau B à un potentiel élevé en le reliant à un des pôles d'une batterie d'accumulateurs P, dont l'autre pôle est à la terre, le plateau A est maintenu au potentiel de la terre par le fil CD, un courant électrique s'établit entre les deux pla-



teaux. Si on coupe la communication avec la terre en C et qu'on relie le plateau A à un électromètre E, l'aiguille de l'électromètre dévie. Cette déviation est proportionnelle à l'intensité du courant et peut servir de mesure. On préfère cependant compenser la charge que prend le plateau A, en maintenant l'électromètre au o, en produisant une quantité d'électricité de sens contraire exactement déterminée.

Pour produire cette électricité, on peut employer le quartz piézoélectrique de M. Curie. Dans cet appareil, ou soumet une lame de quartz à une traction déterminée, les faces de la lame sont normales à l'axe optique de la lame de quartz.

On exercè des tractions perpendiculairement aux axes optiques et électriques de la lame. Sur les deux faces de la lame, recouverte d'une mince couche d'étain, se produisent des quantités d'électricité égales et de sens contraire. On recueille cette électricité au moyen de petits ressorts venant appuyer sur les faces de la lame. Une des faces est reliée à la terre, l'autre à l'électromètre. La quantité d'électricité produite est donnée par la formule :

$$Q = 0{,}063 \frac{L}{e} F$$

L est la longueur de la partie étamée, *e* l'épaisseur de la lame, F l'effort de traction. On arrive, avec un peu d'habitude, à placer les poids dans le plateau supporté par la lame, de manière à maintenir l'électromètre au *o*.

L'intensité du courant qui passe entre les plateaux du condensateur augmente avec la surface de ces plateaux. Mais pour un condensateur donné et une substance donnée, le courant augmente avec la différence de potentiel entre les plateaux, la pression atmosphérique et la distance des deux plateaux. En opérant dans les mêmes conditions, on peut admettre que le courant augmente avec la différence de potentiel entre les plateaux; mais, pour une grande différence de potentiel, le courant tend vers une limite constante, c'est le courant dit de saturation ou courant limite. On a déterminé le courant limite pour l'uranium métal avec un condensateur de 8 cm de diamètre, soit 50 $cm^2$ de surface, dont les plateaux étaient distants de 3 cm; on a trouvé que la valeur de $i$ était de l'ordre de $10^{-11}$ ampères, pour l'uranium métal $i \times 10^{-11} = 2{,}3$. Ce courant limite est obtenu en général avec une différence de potentiel entre les plateaux de 100 volts. Cette valeur 2,3 a été prise pour *unité d'activité*.

En examinant les sels minéraux d'uranium et de thorium, Mme Curie a trouvé pour les valeurs de $i \times 10^{11}$, les nombres suivants :

| | | $i \times 10^{11}$ |
|---|---|---|
| Uranium | | 2,3 |
| Pechblende de Johanngeorgenstadt | | 8,3 |
| — de Joachimsthal | | 7,0 |
| — de Pzibran | | 6,5 |
| — de Cornwallis | | 1,6 |
| Clévéite | | 1,4 |
| Chalcolite | | 5,2 |
| Autunite | | 2,7 |
| Thorites diverses | 0,1 à | 1,4 |
| Orangite | | 2,0 |
| Monazite | | 0,5 |
| Carnotite | | 6,2 |

On remarquera immédiatement que l'activité d'une pechblende est quatre fois plus grande que celle de l'uranium métal, on remarquera une chalcolite deux fois plus active. Cela semblait en contradiction avec les remarques de M. Becquerel, qui avait montré que dans les sels d'urane la quantité de rayons émis était proportionnelle à la quantité d'uranium métallique renfermée dans le sel. Mme Curie prépara une chalcolite artificielle qui eut une activité normale à sa composition, deux fois et demie moins grande que celle de l'uranium métal, elle en conclut que la chalcolite naturelle et les pechblendes devaient renfermer des corps inconnus fortements radioactifs. La recherche de ces corps devint le but de ses travaux, et M. Curie abandonnant ses recherches sur le magnétisme joignit ses efforts aux siens.

Nous venons de décrire une méthode d'investigation très précise, permettant de déceler des traces de corps radioactifs et de mesurer leur activité, mais cette méthode exige de nombreux appareils dont le transport est difficile.

M. Curie a imaginé un électroscope à feuilles d'aluminium, reliées à des plateaux. Sur un des plateaux on place la substance que l'on veut étudier, on charge l'électroscope et on mesure à l'aide d'un microscope, muni d'un micromètre, la vitesse de la chute de la feuille mobile, qui est proportionnelle à l'activité de la substance, qui amène, en rendant l'air conducteur, la déperdition électrique de l'électroscope.

C'est un appareil facile à emporter en exploration et ses indications sont très suffisantes dans la pratique.

On peut également utiliser, comme méthode d'investigation, l'action des rayons de Becquerel sur une plaque photographique enveloppée de papier noir. On peut comparer, après des poses de vingt-quatre heures, l'action des minéraux avec celle produite par des témoins à activité bien déterminée. On obtient plus de précision en polissant la face des minerais, ou en les pulvérisant finement et en en prenant une épaisseur déterminée.

Le professeur Bertram B. Boltwood de Yale University à New-Haven a montré que la quantité de radium continue dans les minéraux uranifères est directement proportionnelle à la quantité d'uranium qu'ils renferment. J. J. Thomson et Rutherford avaient supposé que le radium était probablement formé par la destruction de l'atome d'uranium, il y avait alors lieu de penser qu'il y avait un état final d'équilibre et, par suite, une proportion bien définie entre les deux éléments. Nous ne pouvons espérer rencontrer des minéraux plus riches en radium que la pechblende, qui est un des minerais le plus riche en uranium.

Seuls les minéraux d'uranium et de thorium sont radioactifs, si l'on a découvert en Saône-et-Loire des pyromorphytes (phosphate de plomb) exemptes d'uranium et renfermant cependant du radium, c'est que le radium a été entraîné par les eaux, on trouve dans la région un minerai d'uranium, l'autunite très disséminé.

## 2° Traitement des minerais et préparation du radium.

Ce qui a rendu la recherche des corps radioactifs très difficile, c'est que l'on ne connaissait pas leurs propriétés chimiques et que leur teneur était presque infinitésimale ; c'est, en effet, à la dose de 1/10 000 000e que les pechblendes les plus riches renferment les corps radioactifs. Heureusement que la méthode électrique d'investigation est d'une précision admirable et qu'elle permet de déceler les plus faibles traces de corps radioactifs. Théoriquement, voici en quoi consiste l'opération d'extraction : on dissout la pechblende ou mieux les résidus de pechblende de Joachimsthal, d'où l'uranium a été précédemment extrait, dans un acide ; on précipite dans la liqueur ce qui peut se précipiter et on mesure l'activité du précipité d'une part et de la liqueur d'autre part. On arrive peu à peu à éliminer des matières inac-

tives et à enrichir en activité la portion que l'on conserve. Sans insister sur la partie historique de la découverte des corps radioactifs, nous rappellerons qu'en juillet 1898 M^me^ Curie détermina un élément nouveau voisin du bismuth, et qu'elle appela *Polonium*; qu'en décembre 1898, MM. Curie et Bémont déterminèrent le *Radium*; qu'enfin, en octobre 1899, M. Debierne découvrait l'*Actinium*.

Nous ne parlerons que du radium, l'étude des deux autres corps n'ayant pas encore été suffisamment faite.

Il était nécessaire de traiter des tonnes de minerais. M. et M^me^ Curie, qui étaient en relation avec la Société Centrale de Produits chimiques depuis de longues années, nous demandèrent de les aider dans la préparation des corps radioactifs. Nous entreprîmes cette opération en automne 1899, en suivant une méthode étudiée par M. Debierne; en 1902, j'ai été assez heureux pour modifier le traitement de façon très avantageuse, la durée de l'opération et son coût ont été réduits de moitié. L'Académie des sciences seule a bénéficié de cette réduction, car depuis 1902 tous nos soins furent consacrés au traitement pour lequel la somme de 20 000 f du legs Humbert Debrousse avait été attribuée. Depuis 1899, nous avons traité exactement 13 t de résidus de pechblende, d'où il a été extrait environ 2,6 gr de bromure de radium pur.

Le traitement comprend deux opérations :

1° Le *gros traitement*. — On part des résidus de pechblende ayant pour activité de 2 à 5 et on arrive à obtenir un bromure de baryum radifié à l'activité 60 environ ;

2° Le *fractionnement*. — On part de l'activité 60 et on obtient toute une série de sels de baryum et de radium à activité croissante et enfin, un bromure de radium pur ayant pour activité environ 1 800 000. A l'origine, pour traiter une tonne de résidu de pechblende, il fallait 5 t de produits chimiques et 50 t d'eau de lavage, eau distillée la plupart du temps.

Si l'on veut remarquer que l'on peut compter sur un rendement de 0,2 g de bromure de radium pur par tonne, on peut juger de la difficulté de l'opération. On a, en effet, le rapport de $\frac{2}{10^7}$ ou $\frac{1}{5 \times 10^6}$ entre la quantité de matière que l'on extrait et la quantité de matière, qui la renferme. L'opération durait primitive-

ment quatre mois ; on emploie maintenant moitié moins de produit et moitié moins d'eau, l'opération dure deux mois.

Je ne donnerai pas le détail du traitement, cela serait fastidieux; j'indiquerai simplement que l'on fait quatre transformations en chlorure par action de l'acide chlorhydrique, suivies chacune par quatre traitements au carbonate de soude, que dans l'intervalle de ces opérations on fait une purification à l'hydrogène sulfuré et une au chlore et à l'ammoniaque, qu'on termine enfin par un traitement à l'acide bromhydrique pour obtenir le bromure de baryum radifère. Toutes ces opérations sont nécessaires ; car, pour pouvoir effectuer le fractionnement, il faut éliminer entièrement les sels de plomb, de fer et de chaux; ces éliminations sont très difficiles et elles sont toujours incomplètes. De là leur répétition indispensable.

2° *Fractionnement.* — Dans cette opération, on utilise la propriété qu'ont les sels radifères d'être d'autant moins solubles dans l'eau qu'ils sont plus riches en radium.

Si l'on prend un sel de radium à activité 60, qu'on le fasse dissoudre dans l'eau et qu'on concentre la liqueur en chauffant jusqu'à ce que la cristallisation à pellicule se produise, si on laisse refroidir et si l'on décante, on obtient dans la cristallisation un sel ayant une activité quatre ou cinq fois plus grande; et, d'autre part, si l'on fait dessécher la liqueur décantée, on obtient un sel à activité très inférieure à 60. On conçoit qu'il soit possible, peu à peu, d'obtenir des têtes d'opération ayant des activités croissantes et pouvant amener au bromure de radium pur tandis qu'on élimine à la queue des sels de baryum exempt de radium. C'est là une opération très fastidieuse dans laquelle la patience féminine de Mme Curie a pu s'exercer pendant de longs mois et qui a donné lieu à des surprises : tel fractionnement a duré huit jours alors que tel autre a duré plusieurs mois ; ainsi, en août 1902, Mme Curie abandonna, après un mois et demi d'efforts, le fractionnement des produits d'une tonne ; la tête ne s'enrichissait plus et les produits de queue renfermaient toujours du radium. Ayant repris le fractionnement au mois d'octobre, Mme Curie eut la satisfaction de le terminer en huit jours, en même temps qu'elle conduisait à bien une opération analogue sur les produits provenant d'une nouvelle tonne, en moins de quinze jours. J'ai pensé que les conditions atmosphériques influaient sur la durée de l'opération; cependant je ne puis me montrer affirmatif, bien qu'il

semble que l'hiver soit plus favorable pour ce travail que l'été.

En Allemagne, M. Coehn a traité une solution de chlorure de baryum radifère par l'électrolyse, en employant une électrode en mercure; il a obtenu un amalgame contenant du baryum et du radium; la tension électrolytique entre les deux métaux est suffisamment différente pour qu'on puisse espérer pouvoir séparer le radium à l'état métallique, quand on pourra faire l'électrolyse d'une quantité suffisante de matière. L'amalgame contenant le radium avait toutes les propriétés que possédait le sel lui-même.

L'étude spectrale du radium a été faite par M. Demarsay, dont la fin prématurée a laissé un si grand vide dans la science. En 1899, sur les premiers échantillons faiblement radifères, il détermina, en même temps que la raie du baryum, une raie nouvelle d'intensité notable dans le spectre ultra-violet. En 1900, sur un produit très concentré, il lui fut possible de déterminer trois raies dominantes et neuf autres plus faibles, les raies du baryum étant peu visibles. La position de ces raies et leur intensité ont permis de classer le radium parmi les alcalino-terreux. La réaction spectrale du radium est très sensible; cependant il est nécessaire d'avoir un sel d'activité 50 pour que la photographie spectrale puisse déceler la présence de la raie principale, alors qu'avec la méthode électrique il est possible de reconnaître une activité égale à 1/100. M$^{me}$ Curie a déterminé le poids atomique du radium, qui est égal à 225.

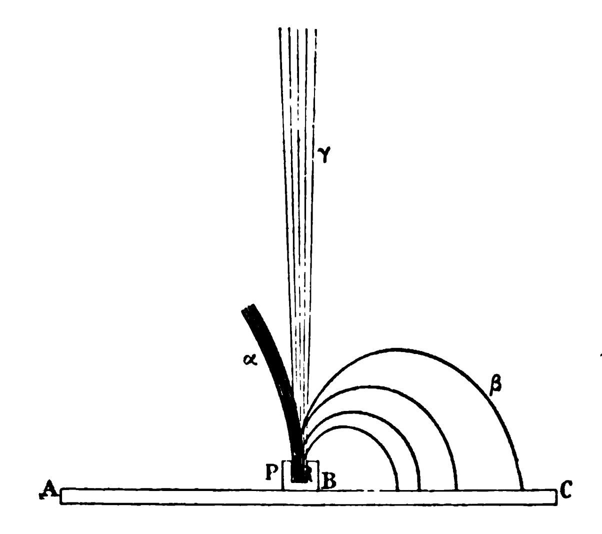
Il est à remarquer que dans la classification de Mendeleef, le radium se trouve dans le groupe des alcalino-terreux et dans la douzième série où l'on rencontre, par ordre de poids atomiques, après lui le thorium 234 et l'uranium 240, qui sont tous les deux radioactifs, et dans la série précédente, en suivant également l'ordre des poids atomiques, on trouve, immédiatement avant le radium, le bismuth 207, qui lui aussi est radioactif par la présence du polonium. En résumé, si on range par ordre de poids atomiques tous les corps connus, on remarque que les quatre corps ayant les poids atomiques les plus élevés sont radioactifs. Nous verrons plus loin la conclusion que l'on peut en tirer.

### 3° Composition du rayonnement émis par le radium.

Pour bien comprendre la composition du rayonnement, il est nécessaire de parler des rayons cathodiques.

Sir W. Crookes a expliqué ainsi la formation de ces rayons; sous

l'action des décharges électriques, les atomes du gaz contenu dans l'ampoule, voisins de la cathode, se brisent ; chacun de ces atomes électriquement neutres forme deux fragments en *ions* chargés d'électricité contraire, l'ion négatif est repoussé de la cathode et forme les rayons cathodiques ; l'ion positif, beaucoup plus gros et formant la presque totalité de l'atome, est absorbé par la cathode et consitue les rayons-canaux (Kanalstrahlen de Goldstein). La charge des corpuscules est la même quelque soit le gaz de l'ampoule et la nature de la cathode : elle est égale à celle véhiculée par les atomes dans le transport électrolytique. Quant aux rayons X ou rayons de Rœntgen, le physicien anglais Stokes explique leur formation de la façon suivante : chaque rayon X naît du choc, contre un objet matériel, d'un corpuscule cathodique ; chacun des chocs produit une onde isolée qui se propage avec la vitesse de 300 000 km à la seconde. l'onde étant unique, il n'y a pas de périodicité, par suite pas de réfraction et pas d'interférence. On retrouve ces divers rayons dans le rayonnement de Becquerel. On peut en faire l'analyse en décomposant le rayonnement par le champ magnétique. Si, dans une rainure très étroite R, ménagée




dans un bloc de plomb P, on place un sel de radium, un faisceau de rayons parallèles s'échappe par toute la surface de la rainure. Si l'on place le bloc dans l'entrefer d'un électro-aimant, de façon que la couche de radium soit disposée dans le sens des lignes de force du champ, supposé dirigé d'avant vers l'arrière ; le champ

étant créé, on observe la déviation des rayons, soit par le déplacement de la tache lumineuse sur l'écran fluorescent, soit par le déplacement de l'impression sur la plaque photographique. Une partie du rayonnement s'épanouit à droite en éventail, comme un prisme lumineux ; une partie des rayons est fortement déviée, d'autres le sont beaucoup moins, la déviation a lieu du même côté que les rayons cathodiques. Ces rayons ont été désignés par Rutherford sous le nom de $\beta$. Ces divers rayons $\beta$ diffèrent, soit par leur masse, soit par leur charge qui est négative, soit par leur vitesse. Si on appelle H l'intensité du champ, $\rho$ le rayon de courbure de la trajectoire d'un rayon, $m$ la masse du corpuscule produisant le rayon et V sa vitesse, on a la relation :

$$H\rho = \frac{m V}{e}$$

Une autre partie du rayonnement est déviée à gauche en bloc ; la déviation est faible et ces rayons semblent analogues aux rayons canaux ; $\rho$ est grand, par suite $m$ ou V doivent être grands, puisque la charge électrique $e$ est constante. Si $\frac{m}{e}$ est grand, cela indique que la masse est très grande par rapport à sa charge électrique. Ces rayons sont désignés sous le nom de rayons $\alpha$. Enfin, une partie du rayonnement, la moins importante de toutes, est indéviable, en tous points analogue aux rayons X, ce sont les rayons appelés $\gamma$. On observe que le champ électrique produit également une déviation sur les rayons $\alpha$ et $\beta$, il est donc possible de déterminer deux relations permettant de calculer les valeurs V et $\frac{m}{e}$. Il résulte des mesures faites que la valeur V de la vitesse des corpuscules des rayons $\beta$ varie de 60 000 km à la seconde pour les plus lents à 283 000 km pour les plus rapides, quant à la valeur $\frac{m}{e}$ pour certains rayons $\beta$, elle est plus de 1 000 fois celle de l'atome hydrogène. Cela veut dire que la charge de chacun des corpuscules formant certains rayons $\beta$ est par rapport à sa masse 1 000 fois plus grande que celle d'un atome d'hydrogène transporté en électrolyse ; comme la valeur $e$ de cette charge est constante, cela veut dire que la masse des corpuscules est 1 000 fois plus petite que la masse de l'atome le plus petit, celui d'hydrogène. Pour les rayons $\alpha$, la vitesse est de 20 000 km à la seconde, la déviation est très faible, avons-nous dit, $\rho$ est grand ; comme

V est relativement petit, il faut que le rapport $\frac{m}{e}$ soit grand : il est voisin de celui des ions d'hydrogène et d'hélium ; $m$ est très grand.

Suivant que $m$ et V sont grands ou petits, les rayons sont pénétrants ou non.

1° Les corpuscules $\alpha$ ayant une forte masse et une faible vitesse sont peu pénétrants : de fait ils sont arrêtés par 0$^{mm}$01 d'aluminium ou par une couche d'air de 7 cm d'épaisseur. Malgré leur faible vitesse et leur forte masse, ils sont peu déviés, car leur masse est très grande par rapport à leur charge électrique.

2° Les corpuscules $\beta$ ayant une faible masse et une grande vitesse sont plus pénétrants que les rayons cathodiques, qui sont aussi ténus mais cinq fois moins rapides. Ils peuvent pénétrer 0,1 mm d'aluminium sans qu'il y ait presque de diffusion, et on peut les observer à une distance de 2 m dans l'air. Cependant, une partie des rayons $\beta$ est analogue aux rayons cathodiques et est fortement diffusée. Leur grande vitesse s'oppose à la déviation du champ, mais leur charge électrique étant considérable par rapport à leur masse, fait qu'ils sont fortement déviés par l'action d'un champ.

En résumé :

| | | |
|---|---|---|
| 1° Rayon $\alpha$ | $v$ petit. . . | faiblement déviés. |
| | $m$ grand . . | faiblement pénétrants. |
| 2° Rayon $\beta$ | $v$ grand . . | fortement déviés. |
| | $m$ petit. . . | assez pénétrants. |
| 3° Rayon $\gamma$ . . . . . . | | non déviés. |
| | | très pénétrants. |

On peut admettre que, dans les rayons du radium, il y a environ 60 0/0 de rayons $\alpha$, 30 0/0 de rayons $\beta$ et 10 0/0 de rayons $\gamma$. Ces derniers rayons doivent leur origine aux chocs des projectiles $\alpha$ et $\beta$ sur la matière elle-même. Si on observe au microscope un grain de radium placé à proximité d'un écran au platino-cyanure de baryum, on constate une multitude de points brillants : ce sont les points où les projectiles les plus gros, ceux des rayons $\alpha$, viennent frapper l'écran.

Crookes a réalisé pratiquement cette expérience avec le spinthariscope.

### 4° Actions physiques, chimiques et biologiques.

Nous retrouverons, dans les actions des rayons du radium, toutes celles qui ont été étudiées pour les rayons cathodiques :

1° *Fluorescence.* — Les sels de radium rendent fluorescents les écrans au platino-cyanure de baryum, au sulfure de calcium ou au sulfure de zinc, les sels alcalino-terreux et alcalins, les sels d'urane, le diamant, le papier, le verre, etc.

L'action est d'autant plus intense qu'il y a contact; on peut avoir des tubes remarquablement lumineux en mélangeant un bromure de baryum radifère avec du sulfure de zinc phosphorescent préparé par le procédé de M. Verneuil; dans ce cas il faut tenir compte aussi de l'action de la radioactivité induite dont nous aurons l'occasion de reparler.

2° *Luminescence.* — Les sels de baryum radifère anhydres sont lumineux; pour M. Bary, cette luminosité est due à la fluorescence des sels de baryum sous l'action des rayons de Becquerel; le bromure de radium n'est presque pas lumineux.

3° *Radiographie.* — On peut obtenir des radiographies avec les sels de radium, mais elles sont très imparfaites; il est nécessaire, pour avoir de la netteté, de dévier par le champ magnétique les rayons $\alpha$ et $\beta$, car le choc des corpuscules produit dans l'objet une émission de rayons secondaires qui trouble entièrement l'aspect de la radiographie. Quand on utilise seulement les rayons $\gamma$, outre que leur quantité est faible, leur force de pénétration est telle que l'épaisseur de la plaque est insuffisante; pour qu'ils puissent développer leur énergie, il est nécessaire de poser plusieurs heures. En employant des tubes renfermant du radium et du sulfure de zinc, une partie du rayonnement $\alpha$ et $\beta$ est transformée en rayons $\gamma$; on opère plus rapidement et avec plus de finesse. M. Ancel, Ingénieur des Arts et Manufactures, a réalisé un petit appareil très commode pour exécuter des radiographies au radium : il renforce l'action par un réflecteur métallique produisant des rayons secondaires, et dévie les rayons $\alpha$ et $\beta$ à l'aide d'un aimant. La radiographie au radium n'est qu'une curiosité scientifique.

4° *Chaleur dégagée par le radium.* — M. Curie et son préparateur, M. Laborde, ont trouvé que les sels de radium étaient le siège

d'un dégagement de chaleur continu et spontané. Un sel de radium pur possède une température de 1° 5 supérieure à la température ambiante. La quantité de chaleur dégagée a été mesurée à l'aide du calorimètre à glace de Bunsen; 1 g de bromure de radium pur dégage 100 calories-grammes à l'heure, il fond un peu plus de son poids de glace. Le poids atomique du radium étant de 225, l'atome-gramme, c'est-à-dire 225 g de radium, dégagerait en une heure 22500 calories, soit une quantité de chaleur comparable à celle produite par la combustion de l'atome-gramme ou de 1 g d'hydrogène. Un petit calcul permet de se rendre compte de l'énorme quantité d'énergie dégagée par le radium pendant une seule année et simplement sous forme d'énergie calorifique : ce dégagement est égal à 870 000 calories-grammes ou 870 grandes calories, sachant que l'équivalent mécanique de la chaleur est de 425, on voit que le travail produit pendant toute l'année a une valeur totale de $870 \times 425 = 369\,750$ kgm, soit 4930 ch.

5° *Phénomènes électriques.* — Nous avons parlé de l'action ionisante du radium sur l'air; nous avons vu que c'est grâce à cette propriété que les recherches ont été faites et que les méthodes de mesure ont été établies. M. Curie a montré que les diélectriques liquides étaient rendus conducteurs; il a fait des expériences à l'aide d'un condensateur cylindrique immergé dans les diélectriques suivants : air liquide, huile de vaseline, éther de pétrole; ce condensateur se comportait comme s'il était placé dans l'air. On immergeait dans le condensateur cylindrique une petite ampoule contenant le radium.

On a utilisé l'action ionisante du radium sur l'air pour prendre le potentiel de l'atmosphère; les premières expériences ont été exécutées, en 1902, par M. Paulsen, dans une expédition au pôle Nord. On emploie habituellement un appareil à gouttes d'eau; outre que l'écoulement se produit parfois irrégulièrement à cause des impuretés de l'eau, l'appareil ne peut fonctionner par la gelée. La mesure de l'électricité atmosphérique est particulièrement intéressante vers les pôles; il était impossible d'employer l'appareil à eau, qui exige, de plus, une installation considérable. On peut employer une petite quantité de radium à activité 20 000 : une des faces de l'ampoule est constituée par une mince couche d'aluminium de 0,01 mm d'épaisseur, laissant passer une grande partie du rayonnement qui rend l'air conducteur dans

son voisinage. Ce petit appareil coûte de 400 à 500 f; il fonctionne par tous les temps et économise une installation très onéreuse. L'appareil est très transportable; il est donc possible de mesurer le potentiel de l'air à des hauteurs variables. Nous avons fourni des appareils de ce genre à plusieurs explorateurs et à des observatoires, notamment à l'expédition Charcot et à l'observatoire du Puy-de-Dôme.

En même temps que la production des rayons $\beta$ donne naissance à une émission de corpuscules cathodiques chargés négativement, il est possible de constater que le sel de radium se charge positivement. Ce phénomène de charge a été observé par M. Curie tout à fait par hasard; ayant à me remettre un sel de radium, il voulut ouvrir le tube qui le renfermait depuis quelques mois : au moment où il traçait un trait de lime sur le verre, il ressentit une légère commotion, semblable à celle d'une bouteille de Leyde, et aperçut une petite étincelle.

*Action des rayons du radium sur la conductibilité du sélénium.* — La diminution de résistance observée est du même ordre de grandeur que les modifications produites par la lumière et par les rayons X, mais elle se manifeste plus lentement. Les expériences ont été faites par Himsdet, Bloch et van Aubel. M. Louis Ancel et moi avons mesuré les variations de résistance d'une plaque de sélénium sous l'action des sels de radium à activités mesurées très exactement par la méthode électrique au laboratoire de M. Curie. Il sera possible d'obtenir des plaques de sélénium convenablement étalonnées, permettant des mesures d'activité très précises : les variations de résistance pour de faibles différences d'activité se chiffrent par des centaines d'ohms. On aura de la sorte un appareil facilement transportable;

6° *Phénomènes chimiques.* — Les rayons du radium produisent des transformations chimiques dans certains corps. L'air d'un tube contenant du radium se charge d'ozone. Le platino-cyanure de baryum est transformé en un corps brun moins fluorescent. La porcelaine et le verre sont colorés en brun ou en violet. Les sels de radium se colorent eux-mêmes s'ils deviennent jaunes puis bruns. Le phosphore blanc est transformé en phosphore rouge. J'ai déjà eu l'occasion de parler de ces phénomènes dans les précédentes communications. Sir W. Crookes a fait agir pendant soixante-dix-huit jours l'émanation produite par une solution de 15 mg de bromure de radium sur un diamant légère-

ment jaunâtre. Le diamant s'est recouvert d'une couche jaune, que l'on a pu détruire par un traitement de dix jours aux nitrates et chlorates de potassium à 50 degrés. Le diamant ainsi traité avait une teinte bleutée dans toute sa masse. Il semble donc possible d'augmenter de la sorte la valeur d'un diamant.

7° *Action physiologique et médicale.* — Voilà, certainement, l'action du radium qui a fait le plus connaître ce corps dans le public; tout le monde en a parlé, mais c'est, à mon avis, cette propriété qu'on aurait dû le plus cacher, pour ne pas donner à de pauvres malades des espérances irréalisables, dont trop de personnes peu scrupuleuses ont abusé.

Des expériences hâtives, faites sur le malade lui-même, ont donné beaucoup de déconvenues, et un peu de discrédit en a rejailli sur le radium; dans l'avenir, on déterminera très complètement le mode d'emploi, et il y a lieu d'espérer le succès de ce moyen curatif intense.

Je me permets de citer la préface dont M. le Professeur d'Arsonval, membre de l'Institut, a bien voulu honorer mon petit livre *Le Radium et la Radioactivité.*

« La radioactivité de la matière ouvre des horizons nouveaux, » non seulement aux physiciens, mais aux chimistes, aux méca- » niciens, aux philosophes, aux physiologistes et aux médecins. » Dans notre désir de pénétrer les secrets de la nature, se cache » toujours ce sentiment, conscient ou inconscient, que la con- » naissance d'un phénomène nouveau nous permettra, tôt ou » tard, de lutter contre la maladie.

» A ce point de vue, les médecins commencent à comprendre » l'importance de la physique et des agents qu'elle étudie, soit » comme moyen de diagnostic, soit comme moyen curatif.

» L'importance de la Physique biologique s'accroît chaque » jour. Depuis vingt-cinq ans que je proclame la nécessité de » ce genre d'études, je n'osais espérer un développement aussi » rapide. Toute ma crainte, c'est que l'éducation physique des » médecins ne soit pas encore tout à fait à la hauteur voulue » pour appliquer judicieusement des agents aussi actifs que les » forces physiques, et, en particulier, l'électricité ou les nou- » velles radiations. Avec eux, il n'est pas permis d'opérer empi- » riquement, car les conséquences de l'ignorance, ou même » d'une simple inadvertance, peuvent être terribles pour le ma- » lade. L'extrême énergie des substances radioactives pour dé-

» truire la matière vivante doit rendre extrêmement prudent » l'opérateur qui les emploie sur l'homme. C'est par une série » d'expériences méthodiquement conduites sur les animaux » d'abord, que nous arriverons à éviter ce double écueil, de » faire du radium, soit une panacée, soit un médicament dan» gereux ».

En ce moment, des recherches méthodiques sont conduites par MM. d'Arsonval et Bordas au Collège de France, par M. Danysz à l'Institut Pasteur, par MM. Bouchard et Balthasard à la Faculté de Médecine, enfin, dans les hôpitaux Saint-Louis, Saint-Antoine et La Salpêtrière, par MM. les docteurs Danlos, Béclère et Raymond. En tenant compte des travaux accomplis à Londres par le docteur Mackensie-Davidson, et à Vienne par le docteur Holzknecht, et des travaux français, on peut enregistrer à l'actif du radium le traitement avec succès de lupus sur lesquels la photothérapie avait été sans action, de cancers superficiels du nez, de la lèvre, de la langue, d'un cancer au sein déjà opéré, enfin, l'atténuation des douleurs fulgurantes des ataxiques par application d'un tube de radium le long de la colonne vertébrale du malade.

Dans l'action curative sur le lupus et le cancer, il ne faut pas voir un effet bactéricide, mais simplement une excitation des tissus. Le radium détruit les bactéries, mais il faut une pose d'une durée telle que les tissus seraient détruits avant les bactéries. L'action trop prolongée du radium à haute activité peut amener, non seulement des brûlures très graves avec perte de substance, mais encore la paralysie et la mort.

En dehors de toute action thérapeutique, les actions physiologiques du radium sont des plus intéressantes. Le radium produit la phosphorescence des milieux de l'œil; on peut diagnostiquer la paralysie de la rétine : beaucoup d'aveugles perçoivent la lueur quand leur rétine n'est pas atteinte.

M. Matout, du Muséum, a observé l'action du radium sur la germination des graines à germination rapide, comme le cresson alénois ou la moutarde. Le pouvoir germinatif disparaît après une exposition d'une semaine des graines aux rayons du radium. En exposant moins d'une semaine, une partie seulement des graines est stérile; les graines qui germent donnent des sujets étiolés. Ce sont les rayons $\alpha$ et $\beta$ qui agissent, car, lorqu'on les absorbe, les rayons $\gamma$ sont sans action.

M. G. Bohn, du Muséum, a étudié l'action des rayons sur les larves des crapauds et des grenouilles. Tous les individus qui ont survécu à l'exposition des rayons ont éprouvé des modifications dans leur constitution; les unes immédiates, les autres au bout de quelques jours; ces monstruosités se sont toujours révélées chez tous au moment de la transformation en têtard. Quand la croissance des animaux est lente, il y a amoindrissement de la taille; quand l'accroissement est rapide et accompagné de transformations, il y a, ou bien destruction des tissus, ou bien la croissance est ralentie ou accélérée suivant la région et les tissus. L'action est analogue sur le développement de l'œuf de poule, l'embryon devient monstrueux.

Je ne parlerai pas à nouveau de l'action des rayons du radium sur les bactéries, et de leur action convulsivante et paralysante sur le cerveau et les centres nerveux des cobayes et souris, action qui, prolongée, peut amener la mort de l'animal.

Pour terminer, je signalerai l'action du radium sur le venin de la vipère; avec une exposition suffisante, on arrive à avoir un venin non toxique, alors que le venin-témoin garde toute sa virulence.

## 5° Radioactivité induite. Eaux et gaz radioactifs.

C'est là la propriété la plus intéressante des corps radioactifs. Quand une substance est placée dans le voisinage du radium, elle acquiert une radioactivité, qui peut persister pendant plusieurs heures après éloignement du radium. C'est ce qu'on a appelé la *radioactivité induite*. Tous les corps placés dans le voisinage du radium s'activent jusqu'à ce que leur activité atteigne une certaine limite; c'est ce qu'on appelle la période d'activation; quand le radium est éloigné, la radioactivité induite décroît d'abord rapidement, puis, en suivant une loi asymptotique, c'est la période de désactivation.

Dans les laboratoires où l'on fait des études sur les corps radioactifs, il est absolument impossible de faire des mesures électriques précises : tout est rendu radioactif.

M. et Mme Curie résument ainsi le phénomène :

1° L'activité d'une lame exposée à l'action du radium augmente avec le temps de l'exposition, se rapprochant d'une certaine limite en suivant une loi asymptotique.

2° L'activité d'une lame qui a été activée par l'action du radium et qui a été ensuite soustraite à cette action, disparait en quelques jours. Cette activité induite tend vers 0, en fonction du temps, suivant une loi asymptotique.

3° Toutes conditions égales d'ailleurs, la radioactivité induite produite par un même sel radifère sur diverses lames est indépendante de la nature de ces lames.

4° La radioactivité induite produite sur une même lame par diverses substances radifères a une valeur-limite d'autant plus élevée que le produit est plus actif.

La radioactivité induite la plus intéressante est celle qui se produit en enceinte fermée. Cette radioactivité est très régulière et particulièrement intense, quand on emploie une solution d'un sel de radium. Si l'on place dans une enceinte des lames de diverses matières, on constate qu'elles s'activent toutes également mais plus ou moins rapidement. Des lames de même matière s'activent d'autant plus vite que l'espace compris entre elles est plus grand. Si on clôt l'ampoule renfermant la solution de radium, le phénomène de radioactivité induite ne se produit plus. La radioactivité se transmet de proche en proche de la matière activante à la matière voisine; cette propagation s'effectue, mais plus lentement, dans les tubes capillaires. Plus l'enceinte est petite, plus l'activation est rapide; les corps qui s'y trouvent placés tendent à prendre une activité induite limite, qui est d'autant plus élevée que le produit agissant est plus actif.

Pour une solution de radium, la radioactivité induite limite dépend de la quantité de radium en solution, et semble lui être proportionnelle.

Si on aspire le gaz de l'enceinte, la radioactivité subsiste, elle est indépendante de la nature et de la pression du gaz de l'enceinte. Quand on place du sulfure de zinc dans l'enceinte contenant une solution de radium, on a une superbe phosphorence. Il est possible de condenser l'émanation radioactive en plaçant une ampoule reliée au radium dans l'air liquide. Rutherford suppose que les corps radioactifs dégagent une sorte d'émanation, ou gaz matériel, qui transporte la radioactivité. Les corps précédemment activés et soustraits à l'action du radium, mais laissés dans l'enceinte, se désactivent régulièrement : l'activité tombe de moitié en quatre jours. La loi de désactivation a été

déterminée très exactement par M. Curie; elle est donnée par l'exponentielle :

$$I = I_0 e^{\frac{t}{\theta}}.$$

$I_0$ intensité du rayonnement initial;

$I$ intensité du rayonnement au temps $t$;

$\theta$ constante de temps ($\theta = 4{,}970 \times 10^5$ secondes;

$$I = \frac{I_0}{2} \text{ en 4 jours.}$$

La loi est absolument constante, ne dépend ni de la capacité de l'enceinte, ni de la nature des parois, ni du gaz, ni de la durée d'activation, elle n'est pas influencée par les variations de température entre — 180° et + 450°. On pourrait s'en servir pour définir un étalon de temps indépendant.

Si on aspire l'air de l'enceinte ou si l'on remplace l'air de l'enceinte par de l'air non activé, la loi de désactivation à l'air libre reparait $I = \frac{Io}{2}$ en 28 minutes, c'est donc bien une émanation qui a accumulé l'énergie radioactive dans le gaz. Avec l'émanation du thorium, la chute est plus rapide; elle est de moitié en 1 minute 10 secondes; avec l'actinium elle est de moitié en quelques secondes.

*Théorie de la radioactivité par MM. Curie et Debierne.* — Cette théorie est indépendante de toute hypothèse sur la provenance de l'énergie, elle considère simplement l'atome de radium comme une source constante et continue d'énergie. Si on considère à un instant donné, l'atome de radium, on voit qu'il possède une énergie potentielle ou activité déterminée, l'apport d'énergie continuant à se produire, l'équilibre se maintient par une perte se faisant sous deux formes :

1° Par rayonnement (rayons déviables ou non);

2° Par conduction ou émanation, ne se faisant pas à travers les corps solides et produisant la radioactivité induite.

On peut même admettre qu'il y a seulement émanation et que la rencontre de l'émanation par le sel produit le rayonnement. En fait, un sel de radium produit peu d'émanation, il y a surtout rayonnement, l'émanation se produit seulement à la surface et dans la masse elle est transformée en rayonnement. Au contraire, quand on dissout le sel, l'émanation se produit sans obstacle, il

n'y a plus de rayonnement et les phénomènes de radioactivité sont intenses. Si la solution est mise en vase clos, l'émanation ne se propage pas à travers la paroi et peu à peu le rayonnement devient intense. Quand un sel de radium vient d'être préparé, comme il a été en solution pendant assez longtemps et qu'il a produit beaucoup d'émanation, il est peu actif, au moment où on vient de le déssécher, il est comme épuisé; mais, peu à peu l'émanation continuant à se produire y accumule de L'énergie, qui se manifeste par une augmentation de l'activité.

On a observé : 1° Que si on dissout un sel et qu'on maintienne la solution radioactive à l'air libre, l'activité est 300 fois moins forte au bout de 48 heures; au bout de 2 heures, l'activité n'est plus déjà que le tiers de l'activité initiale;

2° Que si la solution est mise en vase clos, elle récupère peu à peu son activité en huit jours environ;

3° Que le volume du dissolvant a une grande importance pour la perte de l'activité.

Quand on chauffe un sel, il y a un fort dégagement d'émanation et l'activité du sel décroît, puis, si on abandonne le sel épuisé à lui-même, l'émanation continuant à se produire, l'activité s'accroît peu à peu jusqu'à ce qu'elle revienne égale à l'activité initiale, à ce moment il y a équilibre entre la production d'énergie et la perte sous forme de rayonnement.

*Eaux et gaz radioactifs.* — On a observé dans notre atmosphère une émanation radioactive; les premières expériences ont été exécutées en Allemagne par Elster et Geitel. Quand on porte un fil long de 10 mètres à un potentiel négatif de 2000 volts, on constate que sa surface devient radioactive, si on abandonne ensuite le fil sans le porter au potentiel précédent, son activité décroît peu à peu comme la radioactivité induite à l'air libre. On mesure au moyen d'un électroscope la déperdition électrique d'un fil de 10 mètres de long et chargé à un potentiel de 2000 volts; on peut de la sorte se rendre compte de l'émanation radioactive de l'atmosphère.

Gockel a fait toute une série d'expériences pendant le cours de 1904; il a constaté :

1° Que la teneur A en émanation augmente du simple au décuple en allant de la mer du Nord aux Alpes;

2° Que la période diurne est constante, le maximum s'étend de 9 heures du matin à 5 heures du soir;

3° Il semble que A est indépendant de la température, de l'humidité, du vent, des nuages ;

4° A augmente avec la pression atmosphérique ;

5° Enfin il semble que l'air libre est plus radioactif que l'air pris au ras du sol.

Ce résultat tendrait à prouver que la radioactivité de l'air ne vient pas du sol, comme le pensaient Elster et Geitel qui ont reconnu que l'air des caves et des grottes était plus radioactif que l'air libre.

En 1828, Baumgartner et Mariau-Roller s'aperçurent que les eaux minérales de Gastein se décomposaient par la pile d'une façon différente des eaux ordinaires ; alors que, pour l'eau ordinaire, on a 2 volumes d'hydrogène au pôle négatif et 1 volume d'oxygène au pôle positif, pour l'eau de Gastein la proportion était de 3 pour l'hydrogène et de 1 pour l'oxygène, ils remarquèrent de plus que le temps nécessaire pour décomposer un même poids d'eau de Gastein et d'eau ordinaire était de moitié pour l'eau minérale. En 1864, Scoutteten fit paraître un mémoire intitulé « De l'électricité comme cause principale de l'action des eaux minérales sur l'organisme ».

Certaines eaux minérales à faible ou banale minéralisation, dites indifférentes en Allemagne, indéterminées en France, possèdent cependant des propriétés thérapeutiques remarquables ; cette action est surtout intense, quand l'eau est utilisée à la source et il semble que l'effet va en décroissant avec le temps qui s'est écoulé depuis la mise en bouteille. En Angleterre, on a remarqué que l'eau de Bath contenait un peu de radium et qu'elle dégageait des gaz radioactifs.

M. Curie et son préparateur M. Laborde ont étudié la radioactivité de toute une série d'eaux minérales. Ils mesurent la radioactivité des gaz que dégagent ces eaux à l'aide d'un condensateur cylindrique et par la méthode électrique. On fait passer un volume d'air déterminé pour dégager l'émanation qu'elles renferment.

Ils ont comparé l'action ionisante produite par l'air ayant passé dans les gaz des eaux minérales à celle produite par de l'air ayant passé dans une solution contenant 0,00001 g de bromure de radium pur. Dans le tableau suivant, on a fait figurer dans la première colonne la valeur du courant limite traversant le condensateur dans chaque expérience, la valeur de $i \times 10^3$ dans une seconde colonne est porté le nombre de minutes pen-

dant lesquelles il est nécessaire de laisser séjourner 1 mmg de bromure de radium pur dans 1 l d'air pour obtenir le même courant dans le condensateur qu'avec l'émanation des gaz des eaux minérales étudiées.

*Radioactivité des Eaux Minérales.*

| | $i \times 10^3$ | n |
|---|---|---|
| Bad-Gastein. — Source Grabenbäcker. | 360 | 19,7 |
| Plombières. — Source Vauquelin . . | 47 | 2,5 |
| — Source N° 3 . . . . . | 29 | 1,55 |
| — Source N° 5 . . . . . | 28 | 1,48 |
| — Trou des Capucins . . | 21 | 1,16 |
| Bains-les-Bains . . . . . . . . . . . | 16 | 0,89 |
| Luxeuil. — Bains des Dames. . . . . | 5,7 | 0,29 |
| — Grand Bain . . . . . . . | 2,3 | 0,12 |
| Vichy. — Source Chomel . . . . . . | 4,6 | 0,25 |
| Néris . . . . . . . . . . . . . . . . | 4,2 | 0,23 |
| Bagnoles de l'Orne . . . . . . . . . | 3,3 | 0,17 |
| Salins-Moutiers. . . . . . . . . . . | 3,0 | 0,16 |
| Cauterets. — Eaux-Bonnes. — Lamalou. — Mont-Dore . . . . . . . . de | 0,6 à 3 | 0,16 à 0,03 |
| Royat. — Châtel-Guyon. — Alet . . . | 0 | 0 |

Toutes ces mesures ont été faites pour des gaz vieux de quatre jours, depuis leur puisage à la source; il est donc nécessaire, en tenant compte de la loi de désactivation en vase clos, de doubler ces nombres pour avoir leurs valeurs à la source.

Ainsi la quantité d'émanation contenue dans 1 l de gaz provenant des eaux de Gastein est égale à la quantité d'émanation produite par 1 mmg de bromure de radium pendant quarante minutes, alors que pour l'eau de la source Vauquelin, à Plombières, la quantité d'émanation est celle produite seulement en cinq minutes par 1 milligramme de bromure de radium; son action radioactive est huit fois plus faible que celle de Gastein. On a remarqué que ce sont les eaux indéterminées qui sont les plus radioactives et qu'elles renferment toutes de l'hélium. En dehors des eaux minérales, on a reconnu la présence de gaz fortement radioactifs dans les pétroles bruts.

En ce moment, les docteurs Bouchard et Balthasard expérimentent dans leur laboratoire de la Faculté de Médecine, l'action de l'émanation sur des souris et des cobayes; ces animaux,

après une période de surexcitation, finissent par être frappés de paralysie et par mourir au bout de quelques heures. De l'étude des divers organes, il résulte que la radioactivité s'accumule dans les reins et le foie. On a employé avec un certain succès l'émanation du thorium contre la phtisie pulmonaire : les cellules reprennent une certaine activité. On a utilisé des solutions contenant du radium à activité 100; on peut espérer le succès de ce mode de traitement.

## 6° Décomposition du Radium. Hypothèses et généralités.

Dans cette courte étude, nous avons examiné les diverses propriétés du radium, nous avons vu que ce corps dégageait, sous diverses formes, une énorme quantité d'énergie. Il semble, démontré, à l'heure qu'il est, que cette énergie est produite par la décomposition de l'atome de radium lui-même, qui se transforme en hélium. Cette transformation, tout à fait différente de celles étudiées en chimie a été observée par MM. Curie et Dewar, dans le laboratoire de ce dernier, à Londres. Ayant placé dans une ampoule, communiquant avec un tube de Geissler, 4 dg de bromure de radium pur, d'où tout gaz avait été chassé par fusion et par aspiration à la trompe à mercure, ils abandonnèrent l'appareil à lui-même, après l'avoir séparé de la trompe. Au bout de quelques semaines, ils reconnurent que le spectre du gaz, contenu dans le tube de Geissler, était celui de l'hélium pur. Sir W. Ramsay refit la même expérience avec 7 cg de bromure de radium, il constata que l'émanation suivait la loi de Mariotte, que son spectre était celui des gaz de la famille de l'argon, que peu à peu sa radioactivité disparaissait, et que, finalement, on se trouvait en présence de l'hélium pur.

Ramsay considère qu'il y a entre le radium et l'hélium un stade intermédiaire, un gaz qu'il nomme *exradio*; le radium, pas plus que l'hélium, ne serait radioactif, mais le radium produirait une substance dont il s'imprègne et à laquelle il doit sa radioactivité. Cette émanation, qui jouit de propriétés si curieuses, serait cet exradio.

On a cru que le radium n'était qu'un héliure inconnu en voie de décomposition, mais comme produits de décomposition il n'y a que l'hélium pur, il est bien difficile d'admettre cette hypothèse.

L'hélium est un gaz très répandu dans la nature, à poids atomique très faible : 4; on le rencontre en très faible quantité principalement occlus dans les minéraux radioactifs et les eaux minérales.

Dès 1899, M. et Mme Curie avaient remarqué qu'en chauffant en tube scellé de la pechblende, on obtenait un gaz dont le spectre était celui de l'hélium.

Dans cette transformation du radium en hélium, on se trouve en présence de la transformation de l'atome même, les spectres sont différents, tous les corps seraient constitués d'une matière unique et leur différence ne proviendrait que de la constitution intime de l'atome.

Ramsay a calculé que le radium se transformait entièrement en hélium en douze cents années environ; il a basé son calcul sur la variation d'aspect des raies du spectre, suivant la vitesse de production de l'hélium. Mais alors depuis l'origine du monde, il ne devrait plus y avoir de radium si quelque chose ne venait le reformer; d'après J. J. Thomson et Rutherford, cela serait l'atome d'uranium qui se transformerait en radium. Donc il semble que la transformation part de l'uranium à poids atomique 240, pour passer lentement à l'état de radium, poids atomique 225, puis plus rapidement à l'état d'exradio, puis enfin très rapidement à l'état d'hélium, poids atomique 4.

Cette transformation n'affecterait pas seulement cette série de corps; le thorium, poids atomique 234, se transformerait en émanation, qui, en quelques minutes, cinq mille fois plus rapidement que l'exradio, se détruirait et se transformerait en argon.

On peut croire également que l'actinium, dont l'émanation se détruit en quelques secondes, est le stade de transformation d'un corps inconnu; que le bismuth, poids atomique 210, se transforme en polonium, qui se détruit en quelques mois; que le plomb, poids atomique 206, se transforme en un corps radioactif inconnu. Il semble qu'il y ait une tendance générale de désagrégation des atomes les plus lourds vers un état final dont l'atome serait très léger; déjà Mendeleeff, par une conception hardie, tend à admettre que ce terminus est l'éther lui-même; d'après ce savant russe, il y aurait tendance générale des particules à se soustraire à l'attraction terrestre. Notre atmosphère ne renferme ni hélium, ni hydrogène, alors que le soleil en contient une grande quantité, son attraction étant considérablement plus forte que celle de notre globe. Il y aurait pour ainsi dire drainage des parti-

cules constituant les planètes par le soleil, qui lui-même ne serait qu'un lieu de passage. Cette hypothèse est très séduisante, et c'est à cause de son originalité que je n'ai pas cru devoir la passer sous silence.

Les transformations de l'atome s'accompagnent d'un énorme dégagement d'énergie, dépassant tout ce que nous a montré la mécanique chimique et la thermochimie pour les réactions de décomposition des corps. Quand on pense que, malgré les moyens de désagrégation puissants que nous possédons, il nous a été impossible de décomposer les corps que nous appelons simples, quelle a dû être l'énorme quantité d'énergie nécessaire pour amener les corpuscules à un état de cohésion tel qu'ils puissent constituer des atomes!

Si, par exemple, nous arrivions un jour à décomposer instantanément 1 g de bromure de radium en hélium, nous produirions un dégagement de chaleur formidable; en effet, si nous admettons que 1 g de bromure de radium puisse dégager 100 calories-grammes à l'heure, cela fait 870 000 calories-grammes par an, ou 870 grandes calories. En admettant pour l'atome de radium une existence maximum de mille années, on peut admettre que pendant le cours de ses mille ans, le gramme de bromure de radium dégagerait 870 000 grandes calories.

En cas de décomposition subite, il y aurait un dégagement de 870 000 calories, soit une quantité de chaleur suffisante pour vaporiser 1,5 t d'eau, et pour fondre plus de 10 t de glace. Le calcul a été fait en supposant que le gramme de bromure de radium dégageait continuellement 100 calories-grammes par heure, sans tenir compte de sa diminution de poids au cours de sa décomposition, mais comme, d'autre part, nous n'avons fait état que du dégagement calorifique sans tenir compte des autres manifestations énergétiques, l'approximation est suffisante.

Nous pouvons admettre que le mode de décomposition des corps radioactifs est tel que l'indique Jean Perrin :

Les atomes sont un système solaire en miniature, où les corpuscules chargés d'électricité négative tournent, comme des planètes, autour d'un ou plusieurs soleils, de masse relativement considérable et chargés d'électricité positive, le tout formant un système électriquement neutre. La différence entre les atomes peut provenir du nombre des corpuscules, de leur vitesse et de leur distance au centre de rotation; l'atome lourd est un système planétaire très riche en corpuscules. Dans les atomes lourds, cer-

tains des corpuscules se trouvant assez éloignés du centre et mal assujettis, peuvent devenir, en se libérant et des corpuscules cathodiques.

L'avenir nous dira la part de vérité qu'il y a dans nos hypothèses; le siècle qui vient de finir nous a permis de réunir toutes les études de la force, sous quelque forme qu'elle se manifeste, dans une science unique, qui est l'énergétique. Grâce à Mayer, à Hirn, à Joule, à Carnot, à Maxwell, etc., nous savons que la manifestation mécanique de l'énergie qu'est la pesanteur, peut se transformer en énergie calorifique; que l'énergie chimique peut également se transformer en énergie calorifique; qu'inversement cette dernière énergie peut se transformer en travail mécanique, mais nous savons aussi que, d'après le principe de Carnot cette transformation est pratiquement incomplète, à cause d'une condition de l'énergie thermique qui est la température.

Comme le dit M. Dastre : « Il semble que l'énergie mécanique » soit une forme supérieure de l'énergie et que l'énergie calo- » rifique en soit la forme inférieure ou dégradée.

» La pente est facile à descendre, mais difficile à remonter. Ce » qu'on vient de dire à propos de la chaleur et du mouvement » est vrai, à quelque degré, de toutes les autres énergies, ainsi » que l'a montré Lord Kelvin. Toute manifestation de la nature » est une transformation énergétique : à chacune de ces transfor- » mations, il y a dégradation d'énergie, c'est-à-dire qu'une cer- » taine fraction est abaissée et devient moins facilement trans- » formable.

» Et ainsi l'énergie de l'univers se dégrade de plus en plus; » les formes supérieures s'abaissent à la forme calorifique, celle-ci » s'accumulant à des températures qui se rapprochent de plus » en plus de l'uniformité. La fin de l'univers, d'après cela, se- » rait donc l'unité d'énergie (calorifique) dans l'uniformité de » température. »

L'énergie est la seule réalité objective, puisque la matière, elle-même, n'est perceptible à nos sens que par des manifestations énergétiques, dont l'énergie de cohésion et l'énergie de position sont les principales. Il n'entre pas dans mon idée de nier la matérialité de la matière, comme le père Boscowich qui la considère comme un système de points indivisibles et inétendus, véritables centres de forces, et d'entrer dans le domaine de la métaphysique; mais, j'espère que, de même que le XIX[e] siècle a été le siècle de l'unité de la force, le XX[e] siècle montrera l'unité

de la matière. En parvenant à la transmutation des corps, on constatera que les alchimistes du moyen âge n'étaient pas des fous et que leurs rêves venaient d'expériences accomplies par les savants de l'antique Chaldée, de l'Inde ou de l'Égypte.

Nous devons rendre hommage à la forte pensée de ces savants anglais : Crookes, J. J. Thomson, Ramsay, Rutherford et Lord Kelvin, qui, dignes héritiers de Bacon, de Newton et de Maxwell, apportent à la recherche de la vérité, non seulement le secours d'une raison puissante, mais encore un idéal spiritualiste très élevé que je regrette de ne plus voir, sauf exception, dans le pays de Descartes, de Claude Bernard et de Pasteur.

---

LES

# COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

ET

# LA TÉLÉPHONIE SANS FIL

PAR

M. L. ANCEL

## I. — LES COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Parmi les actualités scientifiques à l'ordre du jour, il en est deux auxquelles s'attache un très grand intérêt tant au point de vue purement spéculatif qu'au point de vue de la pratique industrielle et commerciale : ce sont les courants de haute fréquence et la téléphonie sans fil. En effet, après de longues et patientes recherches de laboratoire, dues à d'éminents savants, les courants de haute fréquence sont maintenant de plus en plus employés en électrothérapie, en télégraphie sans fil et dans un certain nombre d'applications industrielles. D'autre part, la téléphonie sans fil est sortie du domaine des expériences de laboratoire et a reçu d'importantes applications pratiques.

Bien que ces deux questions ne vous soient pas inconnues, j'ai cru pouvoir profiter de l'occasion qui m'était offerte aujourd'hui de présenter un transformateur de haute fréquence et quelques appareils à sélénium, pour donner un aperçu général de l'état actuel de ces deux intéressants problèmes, et, pour répéter, pour ceux de nos collègues qui ne les auraient pas encore vues, quelques expériences concernant les courants de haute fréquence et la transmission de la parole à distance, sans fil, par ondes lumineuses.

Les courants alternatifs de haute fréquence et de haute tension peuvent être obtenus à l'aide de deux procédés.

Le premier, et aussi le plus employé, consiste à charger une capacité modérée à l'aide d'une machine statique ou d'une bobine d'induction, et à décharger cette capacité dans un circuit de self-induction faible. Si la décharge est nettement oscillante, sa période est alors très courte.

Le second procédé, préconisé au début par Tesla, consiste à faire usage d'un alternateur spécial, dont l'inducteur est alimenté par une source de courant continu quelconque, et dont l'induit donne naissance à des courants alternatifs sous une tension de 200 volts et à une fréquence de 9600 périodes par seconde pour une vitesse de rotation de 3000 tours par minute. Ces courants alternatifs ainsi produits alimentent à leur tour un transformateur statique qui élève la tension à 20000 volts environ.

Bien que cet appareil donne des effets très puissants, on utilise de préférence, pour la production des courants alternatifs de haute fréquence et de haute tension, les appareils basés sur les décharges oscillantes.

Un certain nombre de dispositifs ont été imaginés dans ce but.

L'un des premiers en date est celui de Tesla, imité depuis par plusieurs constructeurs. Il consiste à charger un condensateur, non plus par le courant alternatif produit par un alternateur, mais par le courant induit d'une bobine d'induction ordinaire B; les décharges oscillantes de ce condensateur C jaillissent sous forme d'étincelles brillantes entre les boules de l'excitateur E et traversent le solénoïde 1′ à fil gros et court constituant le primaire ou circuit inducteur du transformateur T; les courants induits dans le circuit secondaire 2′ de ce transformateur, qui est plongé dans un bain d'huile minérale contenu dans une cuve en verre, sont recueillis aux bornes *a*, *b* (*fig. 1*).

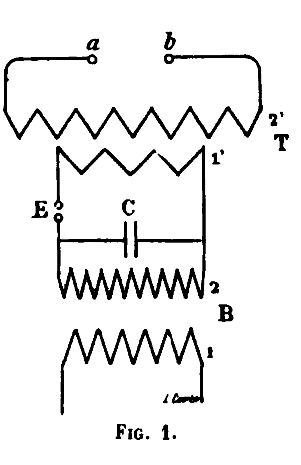


FIG. 1.

Elster et Geitel ont modifié cet appareil en disposant le transformateur verticalement et en supprimant le bain d'huile pour les petits modèles. Nous inspirant de ce dispositif, nous avons construit des appareils analogues, dont vous avez deux spécimens sous les yeux.

Tous deux se composent (*fig. 2*) d'un primaire à gros fil caoutchouté de 40/10 enroulé sur une bobine en bois montée sur trois colonnes fixées à la planchette du socle, et d'un secondaire à fil fin et long de 4/10^es^ de millimètre de diamètre, couvert de soie, enroulé sur un tube isolant placé au centre de la bobine en bois. Ce tube est terminé, à sa partie inférieure, par un pivot conique

en laiton, s'emboîtant dans une douille de même métal, et à sa partie supérieure par une borne.

La borne et la douille sont reliées respectivement aux deux extrémités du fil fin et constituent les pôles à haute tension de l'appareil transformateur.




Fig. 2.

Ces nouveaux appareils sont économiques et fonctionnent d'une manière très satisfaisante, car on peut régler la tension et la fréquence en modifiant la capacité, et en remplaçant la bobine centrale en fil de 4/10 par une bobine semblable en fil de 8/10; on peut donc obtenir des effets très différents avec le même appareil, ce qui est avantageux en électrothérapie.

Un autre dispositif, dû à M. d'Arsonval, est représenté par le schéma ci-dessous (*fig. 3*). Une bobine d'induction, ou même une machine statique, charge les armatures internes de deux condenseurs $C_1$, $C_2$. Les armatures externes sont reliées entre elles par l'intermédiaire d'un solénoïde en gros fil de cuivre rouge S, qui se trouve parcouru par des oscillations de fréquences identiques à celles de la décharge jaillissant en D, par suite des phénomènes d'influence qui se produisent entre les armatures internes et les armatures externes des condensateurs.

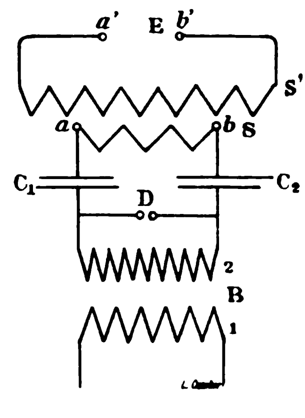



Fig. 3.

Les courants de haute fréquence peuvent être captés aux bornes *a*, *b* des extrémités du solénoïde. Ce dernier peut du reste être remplacé par le primaire d'un transformateur destiné à augmenter encore la tension de ces courants, qu'on recueille dans ce cas aux bornes *a' b'* du solénoïde induit S'.

Pour obtenir la fréquence maxima, surtout avec les appareils puissants, il est nécessaire de souffler les étincelles au fur et à mesure de leur production, soit à l'aide d'un champ magnétique

puissant, soit à l'aide d'un jet d'air ou d'acide carbonique comprimé.

On peut aussi, dans ce but, d'après MM. d'Arsonval et Gaiffe, intercaler entre les bornes du secondaire de la bobine, un condensateur auxiliaire et relier ces bornes à l'excitateur au moyen de deux résistances. Du reste, le meilleur rendement s'obtient par un choix judicieux de la capacité des condensateurs, car si on augmente cette capacité, on accroît l'intensité des courants oscillatoires tout en diminuant le nombre des décharges oscillatoires et par suite la fréquence; si on diminue, au contraire, la capacité, l'intensité décroît, mais la fréquence augmente.

Ces solénoïdes peuvent être construits en grandes dimensions, de façon à entourer complètement le corps d'un homme placé au centre, ou seulement une portion ou un membre du corps.

Une autre catégorie d'appareils de haute fréquence, très employés en électrothérapie, est due au docteur Oudin. Les transformateurs qu'il a imaginés et auxquels il a donné le nom de *résonateurs*, parce que l'accord entre les circuits primaire et secondaire peut être exactement réglé, se composent d'un grand solénoïde en fil de cuivre nu de 2 ou 3 mm de diamètre et d'environ 50 à 60 m de longueur, enroulé en hélice sur un cylindre fileté de bois paraffiné ou autour de montants verticaux isolants.

La partie inférieure de ce solénoïde, comprise entre deux curseurs *a*, *b*, forme le primaire du transformateur et est parcourue par des courants de grande fréquence et de tension relativement basse ; ces courants développent par induction des courants induits de haute tension dans les spires supérieures du solénoïde qui constituent, par conséquent, le circuit secondaire. Le curseur *a* est fixe, le curseur *b* mobile suivant une disposition variable avec chaque constructeur, de telle sorte qu'on peut régler le rapport entre les nombres de spires du primaire et du secondaire, de façon à obtenir le maximum d'effet (*fig. 4*).

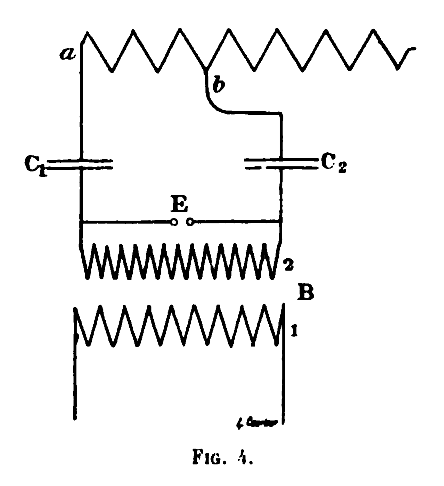


Fig. 4.

En actionnant deux résonateurs Oudin avec une même batterie de condensateurs chargée par un de ses transformateurs à haute tension, M. Rochefort a obtenu des effets extrêmement puissants.

Le capitaine Ferrié a réalisé un dispositif de résonateur symétrique dans lequel le circuit inducteur D est formé par une spire unique de même grandeur que les spires induites des deux solénoïdes identiques S, S', mais entièrement isolée de celles-ci. Les deux portions de solénoïde S, S' sont réunies à l'aide de conducteurs P, P' au patient à traiter ou au corps à électriser. En P, P', le potentiel est nul et l'intensité maxima, de sorte qu'on peut toucher impunément le corps électrisé, même non isolé, sans éprouver de sensation désagréable. Le réglage s'obtient en augmentant ou diminuant la capacité des condensateurs C, et en déplaçant la boucle inductrice D pour faire varier l'intensité, la résonance étant invariable (*fig. 5*).

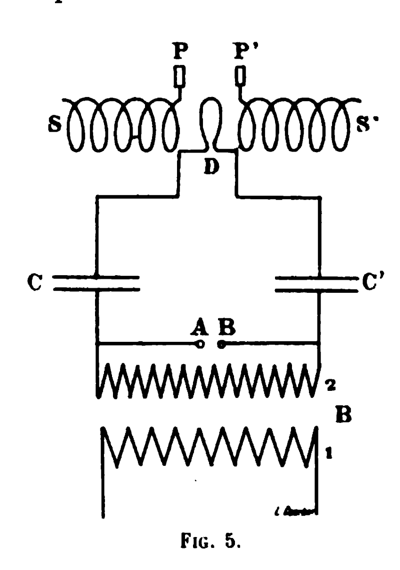


Fig. 5.

D'autres dispositifs ont encore été imaginés pour produire des courants de haute fréquence, notamment par Norton et Lawrence, Tesla et Thomson en 1897, basés sur l'emploi de bobines spéciales alimentées par des circuits d'éclairage ordinaires, et d'interrupteurs mécaniques particuliers branchés ou non sur des condensateurs. Mais ces dispositifs n'ont pas reçu d'application pratique.

Notons enfin que l'arc chantant et l'arc au mercure produisent également des courants alternatifs de haute fréquence.

Les propriétés des courants de haute fréquence sont extrêmement curieuses et découlent de leur formidable puissance d'induction et de self-induction.

Un des premiers effets que l'on remarque sur un transformateur de haute fréquence en fonctionnement, ce sont les effluves, ou les aigrettes, qui se dégagent des extrémités du secondaire, ce qui prouve l'énorme tension de ces courants. Une bobine de 25 cm d'étincelle, comme celle qui actionne ce petit appareil,

donne environ 150000 volts aux bornes de l'induit, à une fréquence variable avec le rupteur employé, de 40 à 60 par seconde à peu près, soit une période de deux centièmes de seconde au primaire, et une période d'oscillation secondaire de cinq millièmes de seconde environ; or, la décharge oscillante des condensateurs porte cette fréquence à 1 million par seconde, et le petit transformateur multiplie la tension par 6, ce qui donne 900000 volts environ au secondaire.

Ces chiffres, bien entendu, ne sont qu'approximatifs, les mesures de ces hautes tensions étant très difficiles à faire.

Il est à remarquer que la décharge oscillatoire des condensateurs détermine un courant de période excessivement courte, sous forme d'étincelle; dès que le pont conducteur formé par cette étincelle est rompu, l'électricité mise en mouvement franchit, pour ainsi dire en vertu de sa vitesse acquise, l'intervalle entre les deux armatures du condensateur, en donnant lieu à une sorte de débordement lumineux de la charge : c'est le *phénomène de Lodge.*

Un conducteur, nu ou isolé, fixé à la borne supérieure du transformateur, paraîtra lumineux, par suite des aigrettes qui s'en échappent.

De même, deux conducteurs parallèles, droits ou en forme de cercles concentriques, déterminent un champ lumineux interrompu par diverses étincelles.

Les effets d'impédance ou de résistance de surface sont peut-être plus curieux encore.

On peut du reste le montrer, en plaçant un arc en fil de cuivre rouge très peu résistant à la place du primaire; si nous disposons des lampes à bas voltage (20, 12 et 6 volts) sur les crochets, les courants de haute fréquence passeront de préférence dans les lampes, dont le filament s'illuminera.

Or, le calcul montre que, pour qu'une lampe de 6 volts s'illumine dans les mêmes conditions sous l'influence d'un courant continu ordinaire, la résistance du fil de cuivre formant la partie supérieure de l'arc étant de 0,0003955 ohm, il faudrait un courant de $I = \frac{E}{R} = \frac{6}{0,0003955} = 15\,000$ ampères environ.

Les courants de haute fréquence s'écartent sensiblement de la loi d'Ohm, comme on le voit.

Pour montrer la puissance d'induction, nous pouvons remplacer cet arc en cuivre par un solénoïde d'une vingtaine de spires,

autour duquel nous fixerons un petit solénoïde comprenant deux spires et une lampe à incandescence de quelques volts; les courants de haute fréquence circulant dans le premier solénoïde détermineront par induction, dans le deuxième solénoïde, des courants suffisamment intenses pour faire rougir le filament.

La haute tension de ces appareils peut être mise en évidence par le champ électrostatique créé au voisinage du transformateur, ce que l'on constate par la présence des aigrettes et des effluves qui se dégagent des conducteurs reliés aux bornes du secondaire. Si nous relions ces bornes à deux écrans en toile métallique situés à une certaine distance l'un de l'autre, et si nous plaçons des tubes vides d'air et sans électrodes, ou des tubes de Geissler ordinaires dans le champ de ces deux écrans, nous verrons les tubes s'illuminer, en donnant ce qu'on est convenu d'appeler de la *lumière froide*.

Tesla a fait cette expérience en grand, en couvrant le plafond d'une chambre d'un réseau de fils qui étaient joints à un des pôles du transformateur, l'autre étant relié à la terre. Les personnes assises dans cette chambre n'éprouvaient aucune sensation particulière, mais les tubes à vide, fixés aux murs de la chambre ou tenus à la main, s'illuminaient assez pour qu'on pût lire aisément.

Une lampe à un filament, fixée à la partie supérieure du secondaire, dont l'autre pôle est à la terre, présente la lumière bleu-pâle des tubes de Geissler, et le fil brille et vibre en même temps.

Les effets physiologiques des courants de haute fréquence sont importants, en raison de leurs applications médicales.

Ils agissent, soit directement sur la peau, par effluvation ou franklinisation, soit par induction (autoconduction ou d'arsonvalisation), dans l'intérieur des tissus organiques.

Si l'on approche le doigt de la borne supérieure du secondaire, on voit passer des étincelles entre le doigt et la borne, et on ressent un léger picotement, sans éprouver de sensation désagréable, peut-être à cause de leur grande fréquence et de leur énorme tension.

L'effluvation médicale consiste à appliquer en un point de l'épiderme une lame métallique sèche ou humide communiquant avec un des pôles, et à promener sur la peau un balai ou pinceau métallique relié à l'autre pôle. L'effluvation sèche est plus douloureuse que l'effluvation humide. Ce mode de traitement convient aux maladies de peau et à la neurasthénie arthritique.

L'effluvation bipolaire, avec les appareils Rochefort cités plus haut, semble même avoir une action bienfaisante dans le traitement de la tuberculose et de diverses maladies chroniques.

L'autoconduction, ou *d'arsonvalisation*, du nom de son promoteur, le docteur d'Arsonval, consiste, soit à mettre directement le sujet dans le circuit à haute tension et haute fréquence, soit à l'enfermer en totalité ou en partie dans un grand solénoïde en forme de cage, dont l'influence détermine, dans son propre corps, de puissants courants d'induction, qu'on peut mettre en évidence en entourant le milieu du corps du sujet d'une ceinture formée de quelques tours de fil de cuivre, dont les extrémités sont reliées à une lampe, dont l'éclat sert à évaluer la puissance des courants qui circulent dans le grand solénoïde. La d'arsonvalisation a une influence favorable sur la nutrition générale, augmente la quantité de $CO^2$ exhalé et d'acide urique éliminé, et agit en un mot, sur l'organisme et sur le système nerveux, par la suractivité qu'elle imprime aux combustions organiques.

Comme on le voit, les courants de haute fréquence ont surtout trouvé leur application en électrothérapie. Cependant, ils peuvent être employés industriellement pour la production d'ozone, soit directement, soit par l'intermédiaire d'ozonateurs spécialement construits à cet effet. On peut, en effet, constater la présence d'ozone, dans le voisinage de ces appareils en activité, par son odeur ou par un réactif approprié.

Ils peuvent aussi être employés en télégraphie sans fil, comme l'ont montré divers expérimentateurs, ou, comme nous le verrons tout à l'heure, à propos du sélénium, pour la transmission des images à distance avec fil.

Tout récemment, on a même appliqué à l'allumage d'un nouveau moteur à explosion à huit cylindres, de grande puissance, sous un poids très réduit, les courants de haute fréquence produits par un alternateur spécial, de façon à obtenir un arc très chaud, analogue à cette étincelle condensée, entre les pôles des bougies. (Moteur Antoinette, de M. Levavasseur.)

Enfin, il n'est pas dit que la lumière froide et sans fil ne soit pas la lumière de l'avenir, grâce aux courants de grande fréquence et de haute tension.

## II. — LA TÉLÉPHONIE SANS FIL

Les divers systèmes de téléphonie sans fil actuellement employés dans la pratique peuvent être répartis en trois catégories distinctes :

1° La téléphonie sans fil par ondes hertziennes et par les courants de haute fréquence;

2° La téléphonie sans fil par ondes telluriques, c'est-à-dire par la terre et par l'eau;

3° La téléphonie sans fil par ondes lumineuses, à l'aide du sélénium, de beaucoup la plus intéressante.

La téléphonie sans fil par ondes hertziennes ou courants de haute fréquence n'est pas, à proprement parler, de la téléphonie, mais plutôt de la télégraphie acoustique, en ce sens que les signaux Morse sont reçus *au son*, à l'aide d'un téléphone ordinaire. Le poste transmetteur comprend soit les organes ordinaires servant à l'émission des ondes hertziennes, bobine, manipulateur, oscillateur et antenne; soit les organes spéciaux d'émission d'ondes à haute fréquence, à l'aide de résonateurs convenablement accordés. Le poste récepteur comprend, soit un cohéreur ordinaire, soit le détecteur magnétique de Marconi, reliés à l'antenne directement ou par l'intermédiaire d'un résonateur.

Ce dispositif est très sensible, et a permis à Marconi de franchir l'Atlantique, depuis la célèbre station de Poldhu, en Cornouailles, jusqu'au poste du Cap Breton, près de New-York, soit plus de 5 000 km.

La téléphonie sans fil par ondes telluriques permet, au contraire, de transmettre réellement la parole, à des distances qui dépassent 10 km. Ce système est basé sur une expérience faite par Bourbouze en novembre 1870. Il avait installé une pile de 600 éléments, au pont Napoléon, dont l'un des pôles était relié au sol, l'autre à la Seine par l'intermédiaire d'une clef de Morse. Au pont d'Austerlitz, se trouvait un galvanomètre relié, d'une part au sol, de l'autre à la Seine. Chaque fois qu'on appuie sur le manipulateur, l'aiguille dévie fortement au poste récepteur.

En 1892, William Preece répéta cette expérience en remplaçant le galvanomètre par un téléphone; de longs conducteurs étaient tendus parallèlement sur les deux rives du canal de Bristol, à une distance de 5,300 km, avec plaques de terre aux ex-

trémités. Au milieu de ces conducteurs, se trouvaient les appareils de transmission et de réception.

Enfin, en 1900, Gavey transmit la parole sans fil pour la première fois entre l'île Rathlin et la côte d'Irlande, à une distance de 12 km. Les plaques de terre étaient distantes de 9 km sur la côte d'Irlande et de 2 km sur l'île Rathlin. Chaque poste comprenait une batterie de piles, un microphone pour transmettre, un téléphone pour recevoir, et un commutateur permettant de passer de la transmission à la réception ou inversement.

En 1901, M. Ducretet, en s'inspirant des expériences précédentes, a combiné un poste double de télégraphie et de téléphonie sans fil par la terre comprenant une bobine d'induction S, une clef de Morse *Ma*, un microphone pour courants intenses *Mi*, un levier articulé L et deux téléphones TE, TE'. On peut transmettre les signaux Morse, par points et par traits, en amenant la clef en face du plot *Tr* et en manipulant comme à l'ordinaire; ces signaux sont reçus au son au poste récepteur.

Pour transmettre la parole, il suffit d'amener la clef en face du plot *Mi* et de parler devant le microphone, les téléphones restant accrochés. Ceux-ci seront décrochés et mis aux oreilles pour recevoir.

M. Maiche a également imaginé un système de télégraphie et de téléphonie sans fil par la terre, basé sur un principe analogue à ceux des précédents expérimentateurs; il a pu transmettre ainsi jusqu'à 3 500 m des signaux phoniques parfaitement nets et clairs. Le détail de ses intéressantes expériences a été consigné dans une communication faite à la Société, dans sa séance du 7 février 1902, par notre Collègue M. Farjas; un extrait de cette communication figure au procès-verbal de cette séance.

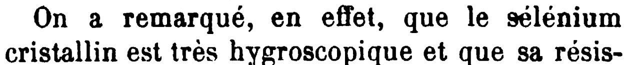
J'arrive maintenant à la téléphonie sans fil par ondes lumineuses, basée sur les variations de conductibilité du sélénium sous l'influence de la lumière.

Le sélénium, étendu en couche mince sur une surface solide telle que de la porcelaine ou de l'ardoise, de manière à former une sorte de pont entre deux conducteurs parallèles, et chauffé dans une étuve à une température convenable pour obtenir la modification *ardoisée* la plus sensible, jouit de la curieuse propriété d'être beaucoup plus conducteur du courant électrique à la lumière que dans l'obscurité, comme l'ont constaté May et Smith en 1873.

Les premiers éléments de sélénium ont été construits en 1875, par Werner Siemens. Deux fils fins en platine étaient enroulés en spirale ou en zigzag et placés sur une feuille de mica. On coulait dessus du sélénium vitreux fondu en couche mince, et on plongeait le tout dans un bain de paraffine à 210 degrés, pendant plusieurs heures, et on laissait refroidir très lentement. La résistance de ces éléments était abaissée de 1/15ᵉ avec un éclairage intense.

La forme actuelle des éléments au sélénium est celle préconisée par Shelford Bidwell. Les deux fils de cuivre sont enroulés autour d'une petite tablette dentelée *(fig. 6)* en ardoise ou mieux en porcelaine, sur laquelle le sélénium est étendu en couche aussi mince que possible. Ernst Ruhmer donne de préférence à ses éléments la forme d'un cylindre, et il les enferme dans une ampoule en verre vide d'air terminée par un culot à vis identique à celui des lampes à incandescence *(fig. 7)*.

Fig. 6.



On a remarqué, en effet, que le sélénium cristallin est très hygroscopique et que sa résistance diminuait sans cesse avec le temps à l'air libre, ce qui n'a plus lieu lorsque la modification cristalline se fait dans le vide.

Une des premières applications des éléments au sélénium a été réalisée par Werner Siemens dans son photomètre à sélénium; l'élément à sélénium était intercalé dans le circuit d'une pile et d'un galvanomètre. Ayant lu une certaine déviation avec une des sources de lumière, on place l'autre à une distance telle que la déviation reste la même.

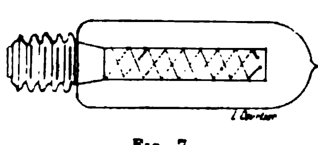


Fig. 7.

Ruhmer est arrivé à construire des récepteurs à sélénium suffisamment sensibles pour être impressionnés par les rayons X et le radium. Il a ainsi réalisé un photomètre pour rayons X dans lequel l'élément de sélénium est placé sur le tube de Röntgen au moyen d'une pince à ressort, et de façon à n'absorber que les rayons postérieurs non utilisables. Le photomètre à sélénium a également permis à Ruhmer de relever la courbe de variation d'éclairement pendant l'éclipse de lune du 11-12 avril 1904.

Une application intéressante des éléments à sélénium est celle de leur combinaison avec un relais. Si on intercale dans le cir-

cuit du relais une pile et un élément de sélénium, et si le contact du relais ferme un deuxième circuit comprenant une pile et une sonnerie, aussitôt qu'on éclairera la surface du sélénium, ce dernier deviendra conducteur, la palette du relais sera attirée et la sonnerie se mettra en mouvement.

Ruhmer a pu réaliser, par ce procédé, l'allumage et l'extinction automatiques des lampes à la tombée de la nuit et à l'aurore, notamment sur les bouées à gaz.

Supposons maintenant qu'au lieu d'une source lumineuse fixe, nous ayons une source lumineuse intermittente, ce que nous pouvons obtenir très simplement en disposant sur le trajet du faisceau lumineux devant agir sur le sélénium un disque percé d'une fenêtre et animé d'un mouvement de rotation rapide. La résistance du sélénium changera chaque fois que le faisceau lumineux pourra l'influencer; si donc on intercale la résistance à sélénium dans le circuit d'une pile et d'un téléphone, la membrane du téléphone sera attirée au moment du passage de la fenêtre mobile devant le récepteur à sélénium : la succession rapide de ces attractions déterminera dans le téléphone un son dont la hauteur (ou le nombre de vibrations par seconde), sera égale au nombre de tours par seconde du moteur entraînant le disque percé d'une ouverture.

Si on remplace enfin la source lumineuse intermittente par une flamme chantante de gaz ou d'acétylène, et qu'on fasse vibrer cette flamme en parlant ou en sifflant devant l'embouchure de la capsule manométrique, des variations de conductibilité correspondant aux variations d'éclat de la flamme auront lieu dans le récepteur à sélénium, et le téléphone reproduira exactement les sons émis devant l'embouchure.

Au lieu d'une flamme chantante, qui permet déjà de correspondre à plusieurs mètres, on pourrait réfléchir la lumière solaire sur le récepteur à sélénium, à l'aide d'un miroir collé sur une membrane vibrante fixée à l'extrémité d'un tube acoustique.

Dans ce cas, la source lumineuse est d'intensité constante et les rayons émis sont modifiés en un point quelconque de leur parcours; en effet, sous l'action de la voix, la membrane devient tantôt concave, tantôt convexe, de sorte que les rayons lumineux, primitivement parallèles, tantôt convergent, tantôt divergent, ce qui fait varier leur concentration sur le miroir parabolique du poste récepteur. A l'aide de ce dispositif, Bell et Tainter pu-

rent réaliser, dès 1880, un système de téléphonie sans fil entre deux stations distantes de 200 m.

Tout récemment, M. Ruhmer, de Berlin, a imaginé d'employer comme transmetteur l'arc chantant, étudié il y a quelques années, par Simon et Duddell, dont les variations d'éclat peuvent influencer à des distances considérables les nouveaux récepteurs à sélénium de grande sensibilité qu'il a construits dans ce but. Au poste transmetteur, le charbon + d'une lampe à arc A est placé au foyer d'un miroir parabolique *m*. Le courant d'alimentation traverse le primaire d'un transformateur T dont le secondaire est relié d'une part, à un microphone M, de l'autre à une

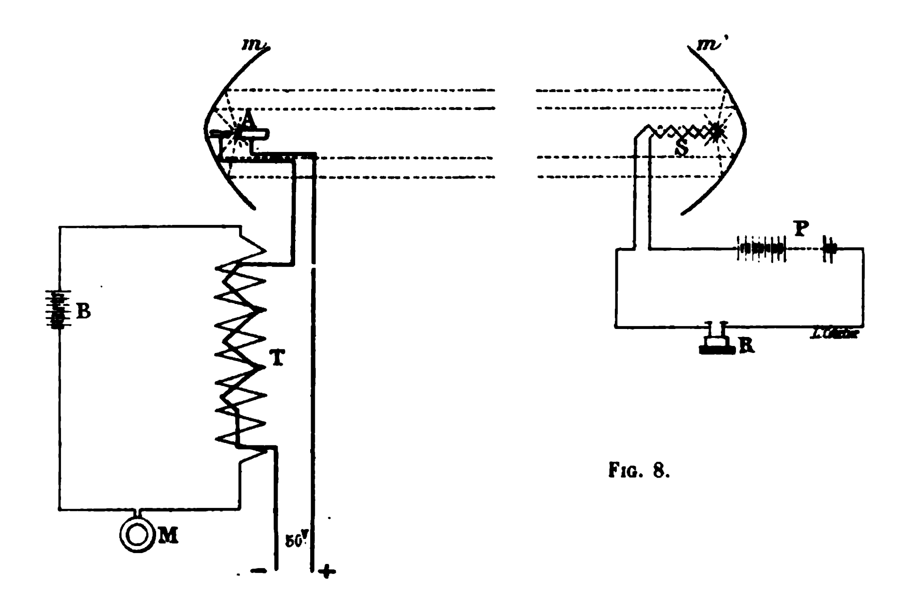


Fig. 8.

petite batterie d'accumulateurs B. Lorsqu'on parle devant le microphone, des variations d'intensité se produisent dans le courant qui circule dans le secondaire du transformateur; par induction sur le primaire, ces variations ont leur répercussion dans la flamme de l'arc, dont l'éclat subit des modifications correspondantes. Il est possible de les distinguer à l'œil nu surtout lorsqu'on siffle devant l'embouchure. De plus, la flamme de l'arc, en vibrant, produit un son, qui n'est que l'écho fidèle mais un peu atténué, des vibrations sonores émises devant la membrane du microphone.

Au poste récepteur, une pile à sélénium S dans le vide de Ruh-

mer, est placée au foyer d'un second miroir parabolique *m'*, et connectée à une batterie de piles P et à un téléphone très sensible R.

Lorsqu'on parle devant le microphone, les variations lumineuses de l'arc correspondant aux vibrations sonores influencent à distance le sélénium, et on perçoit dans le téléphone les sons un peu affaiblis, mais néanmoins bien distincts, émis au poste transmetteur *(fig. 8)*.

Avec de petits appareils on peut déjà correspondre à quelques centaines de mètres. M. Ruhmer a construit et expérimenté toute une série d'appareils permettant de correspondre à des distances atteignant 15 km.

Pour les grandes distances, il faut employer les grands projecteurs de marine à miroir parabolique et des arcs puissants; de plus, à cause de la courbure de la terre, les postes doivent être assez élevés, car il ne faut pas qu'il y ait d'obstacles interposés.

Grâce à ces expériences fort intéressantes, la téléphonie sans fil par ondes lumineuses est déjà entrée dans le domaine de la pratique et permettra, soit en temps de paix, soit en temps de guerre, de correspondre rapidement, sûrement et sans avoir à installer des lignes parallèles comme dans la téléphonie sans fil par la terre et l'eau, ce qui peut ne pas toujours être possible.

Il me reste maintenant à dire quelques mots de deux applications toutes récentes du sélénium : la photographophonie et la télautographie.

Ruhmer a eu l'idée de fixer sur une pellicule cinématographique les variations d'éclat d'une lampe chantante, en projetant l'image linéaire de l'arc à l'aide d'une lentille cylindrique, et non sphérique, sur la pellicule animée d'un mouvement de translation continu de 3 m à la seconde. On obtient des groupes de bandes alternativement claires et obscures, et on photographie ainsi en quelque sorte le son. Inversement, si on déroule cette pellicule cinématographique, éclairée par une source lumineuse fixe, à la même vitesse que précédemment devant un élément de sélénium connecté à une batterie de piles et à un téléphone, le téléphone reproduira tous les sons précédemment enregistrés par la photographie. Cet appareil a été, de ce fait, appelé *photographophone*.

Une dernière application, qui a tenté l'imagination de bien des chercheurs, est la transmission des dessins à distance. M. Korn

vient de la réaliser il y a quelques mois, à l'aide des courants de haute fréquence et du sélénium combinés.

Au poste transmetteur, se trouve un cylindre de verre C autour duquel est disposé le dessin transparent ou le cliché pelliculaire D à reproduire. Ce cliché est éclairé par une source de lumière fixe S, concentrée par une lentille convexe L, tandis que le cylindre peut tourner et se déplacer longitudinalement. Au centre du cylindre est un élément de sélénium R relié à distance par le fil de ligne $l$ à un relais G à cadre galvanométrique situé au poste récepteur. L'aiguille de ce galvanomètre, en se déplaçant plus ou moins, modifie la longueur des étincelles $e_1$ $e_2$ d'un

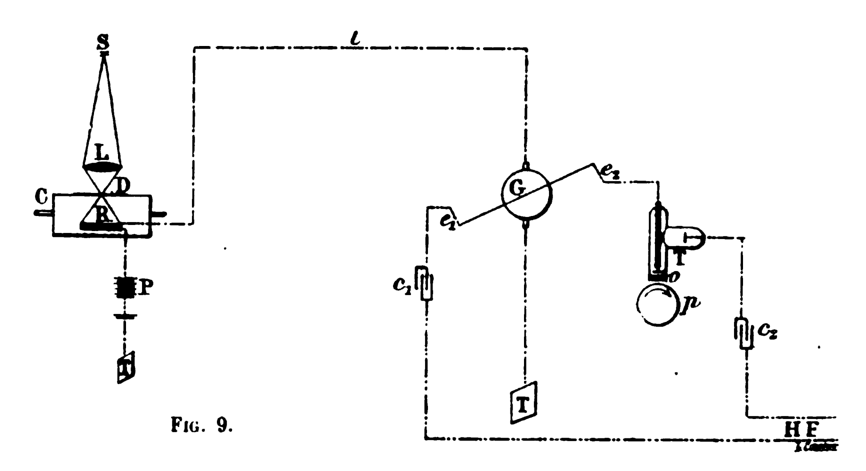



Fig. 9.

oscillateur alimenté par des courants provenant d'un appareil de haute fréquence HF, et par suite, l'intensité de courants de haute fréquence traversant un tube à vide; ce tube T devient plus ou moins lumineux et impressionne ainsi par le trou *o* une feuille de papier photographique, disposée sur la surface d'un cylindre *p*, synchrone du cylindre C *(fig. 9)*.

Les résultats très satisfaisants obtenus par le procédé de M. Korn nous permettent d'entrevoir la possibilité, dans un avenir peu éloigné, de résoudre un problème beaucoup plus compliqué que la transmission de la parole ou des dessins à distance : ce sera la vision à distance avec et peut-être même sans fil.

# ÉTUDE TECHNIQUE COMPARATIVE

DES

# ALCOOLS DÉNATURÉS

## (VIENNE 1904)

PAR

M. Lucien PÉRISSÉ

---

L'Exposition internationale de l'utilisation des alcools et des industries de la fermentation (1) qui s'est tenue à Vienne en mai et juin 1904 a donné l'occasion à la France de montrer que notre pays n'avait rien négligé pour faire progresser la question nationale de l'alcool et que nos industriels et nos techniciens avaient à cœur de contribuer, comme les étrangers, au développement du combustible agricole.

La Section française, qui était placée sous la haute direction de M. Mougeot, Ministre de l'Agriculture, que l'état de sa santé a malheureusement empêché de réaliser le projet qu'il avait formé d'aller à Vienne, avait été organisée par M. Viger, sénateur, ancien Ministre de l'Agriculture, comme Président de la Commission d'organisation et elle avait comme Commissaire général M. G. Rives, dont tout le monde connaît l'actif dévouement aux industries nouvelles.

Le Commissaire général avait donc décidé, sur les avis éclairés de notre collègue, M. M. Richard, de créer à l'Exposition, dans la Section française, une station technique pour les essais comparatifs des alcools au point de vue de la force motrice et pour réaliser cette création, il avait fait appel aux concours du Ministère de l'Agriculture, de l'Automobile Club de France, de la Commission exécutive des expositions de l'Automobile et des Chambres syndicales de l'Automobile.

Nous avons eu le grand honneur d'être chargé de la direction de cette station d'essais et, par suite, de l'installation des mo-

(1) Cette exposition avait été organisée par l'Association Industrielle de la Basse-Autriche, dont M. A. Denk est le président. M. Exner, chef de section au Ministère du Commerce, était président de la Commission de l'Exposition.

teurs de nos nationaux dans la Galerie de la Rotonde du Prater où avait lieu l'exposition des moteurs à alcools.

Le programme était d'étudier d'une façon comparative l'alcool français et les alcools étrangers représentés à l'Exposition, que nous sommes dans l'impossibilité d'importer en France, en raison des exigences de l'Administration.

Nous devions, en outre, rechercher quels avantages et quels inconvénients se révélaient à l'emploi de ces divers alcools dans nos moteurs français, afin d'appuyer les demandes nombreuses déjà, faites près des pouvoirs publics, en vue de modifier notre régime actuel en ce qui concerne l'alcool moteur.

Ce sont donc les résultats obtenus à Vienne que nous venons faire connaître à la Société des Ingénieurs Civils de France, complétant ainsi nos deux communications précédentes (1) sur les *moteurs à alcool.*

## CHAPITRE PREMIER

### Installation des appareils d'essais.

La section française comprenait un certain nombre d'exposants groupés en une collectivité qui constituait la station d'essai, tous les moteurs exposés en fonctionnement (2) devant servir aux expériences. Les exposants étaient les suivants :

| | |
|---|---|
| MM. De Dion Bouton et Cie, | 2 groupes électrogènes ; |
| MM. Brouhot et Cie, | 1 moteur fixe horizontal ; |
| | 1 moteur vertical 12 ch ; |
| Sté des Automobiles Gobron-Brillié, | 1 moteur vertical 10 ch ; |
| M. Tony Huber, | 1 moteur vertical 9 ch. |

L'exposition française des moteurs occupait une surface de 85 m² environ, avec une façade de 17,50 m de longueur ; elle se trouvait placée entre la section allemande et la section autrichienne dans la galerie de l'Est de la rotonde du Prater.

(1) Séances des 2 juin 1899 et 5 juillet 1901.

(2) Les deux groupes exposés par la société « l'Aster » et les moteurs à quatre cylindres de M. T. Huber n'étaient pas en fonctionnement à l'Exposition de Vienne.

### I. — Moteur Gobron-Brillié.

Sur notre demande expresse, M. Gobron avait bien voulu se dessaisir d'un de ses moteurs de voiture, type 10 ch, et l'avait fait installer avec un de ses nouveaux carburateurs à giclage.

Les caractéristiques de ce moteur sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Nombre de cylindres. . . . . | 2 |
| Alésage. . . . . . . . . . . . | 85 mm |
| Nombre de pistons. . . . . . | 4 |
| Course des pistons supérieurs. . | 68 mm |
| — — inférieurs . . | 88 mm |
| — totale des pistons . . . . | 156 mm |
| Rapport de l'alésage à la course. | 1,9 |
| Calage des manivelles . . . . | 180 degrés |
| Vitesse de régime . . . . . . . | 1 200 tours. |

Nous avions choisi le moteur Gobron-Brillié entre tous, en raison des dimensions de ses cylindres et du rapport élevé de l'alésage à la course, qui sont particulièrement favorables à l'emploi de l'alcool.

Après les premiers essais d'alcools autrichiens, nous avons monté sur le moteur un carburateur à alcool que M. Longuemare avait mis à notre disposition ; ce carburateur à pointeau permettait, par un simple réglage, de passer instantanément d'un liquide à un autre. Ce carburateur était réchauffé par une dérivation du tuyau d'échappement.

Nous avons installé, avec le concours de la maison Longuemare, trois réservoirs en laiton munis de robinets à trois voies permettant d'envoyer à volonté au carburateur l'un ou l'autre des combustibles essayés; un de ces réservoirs contenant soit du benzol pur, soit de l'alcool carburé à 50 0/0 servait à la mise en marche et à l'échauffement du moteur pour éviter les effets d'encrassement et de rouille qui se manifestent avec l'alcool pur tant que le carburateur n'est pas complètement réglé ; nous avons pris soin, à la fin de toutes nos expériences, de faire fonctionner quelques instants le moteur au benzol et cette précaution, bien peu gênante en vérité, nous a donné d'excellents résultats pratiques, le moteur n'ayant jamais donné aucun ennui de fonctionnement et justifiant en cela la bonne réputation de ses constructeurs.

Malheureusement, les conditions de l'installation à l'Exposition sur un plancher en bois relié obligatoirement aux massifs de fondations nous a forcé à fonctionner presque toujours à vitesse réduite : cette vitesse a été, en général, maintenue aux environs de 800 tours et n'a atteint 1 000 tours qu'exceptionnellement.

*Indicateurs Mathot-Garnier.* — La maison Paul Garnier avait bien voulu nous prêter divers appareils pour compléter ceux qui appartenaient au directeur de la station d'essais, et nous avons fait l'installation de ces appareils sur le moteur Gobron-Brillié.

Notre indicateur d'explosions à enregistrement continu, de M. Mathot, nous a servi à relever des diagrammes afin de nous assurer que le fonctionnement du moteur était normal à chaque expérience d'un nouveau combustible ; nous y relevions également les valeurs moyennes des explosions. Après cette vérification de la marche du moteur, nous tirions les diagrammes fermés tant au cours de l'expérience qu'aussitôt celle-ci terminée, au moyen de l'indicateur alternatif du système Garnier. Cet appareil comportait un embrayage progressif réducteur de course, commandé par un excentrique calé sur l'arbre du moteur. Les ressorts de l'indicateur ont été tarés à nouveau au retour de Vienne pour éviter toute erreur due à l'appareil.

*Moulinet dynamométrique du colonel Ch. Renard.* — L'emploi d'un frein de Prony présentant des inconvénients exclusifs du fonctionnement dans une exposition publique, nous avons fait choix, comme dynamomètre, des moulinets que le colonel Ch. Renard avait, pour la première fois, fait connaître au public scientifique lors du Congrès des applications de l'alcool dénaturé, organisé en décembre 1902 par la Commission des expositions de l'Automobile Club de France.

Rappelons-en très brièvement le principe : une barre en bois perpendiculaire à l'axe du moteur, porte deux plans symétriques se mouvant orthogonalement dans l'air ; ces plans peuvent varier d'écartement tout en restant symétriques par le déplacement (pendant le repos) des boulons de fixation.

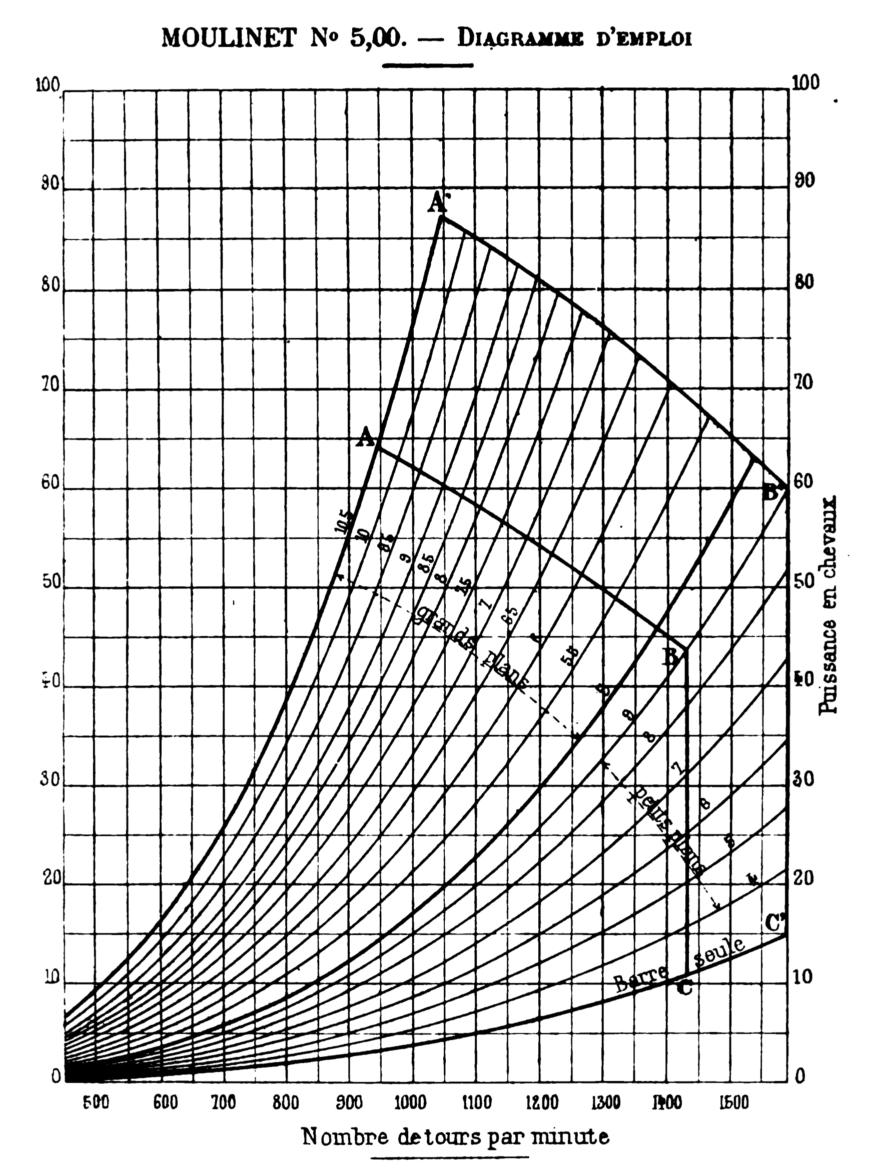
La résistance offerte par l'air au mouvement de rotation des plans, varie avec la surface de ceux-ci et leur vitesse tangentielle résultant de leur écartement de l'axe du moteur.

La puissance en kilogrammètres est donnée par la formule :

$$T = a\,K_t\left(\frac{N}{1000}\right)^3$$

Fig. 1.

## MOULINET N° 5,00. — Diagramme d'emploi




**A. B. C.** — Limite d'emploi de grande sécurité

**A' B' C'.** — Limite absolue à ne jamais dépasser dans aucun cas

**N. B.** — Les N$^{os}$ inscrits sur les courbes sont ceux des divisions de la barre en regard desquelles tombe la ligne médiane tracée sur les plans.

*a* étant le poids de l'air en fonction de la température et de la pression au moment de l'expérience,

N le nombre de tours par minute ou « vélocité »,

$K_t$ le coefficient de travail du moulinet dont la valeur varie suivant le trou correspondant à la partie médiane du plan.

Le moulinet n° 1 *bis*, qui nous avait été gracieusement prêté par le colonel Renard, était constitué par une barre en frêne de 860 mm de longueur et dont la section était de 69 mm par 34 mm. Dix-sept trous étant percés de chaque côté de l'axe, ils étaient distants de 20 mm d'axe en axe.

Les plans en aluminium, de 200 mm × 200 mm, étaient maintenus par deux boulons avec contre-plaque, distants chacun de 80 mm.

Les valeurs de $K_t$, calculées par le colonel Renard, étaient les suivantes :

| | |
|---|---|
| Barre seule . . . . . . . . . $K_t$ = | 35,09 |
| Trou n° 3 . . . . . . . . . . . . . | 96,00 |
| 4 . . . . . . . . . . . . . | 119,4 |
| 5 . . . . . . . . . . . . . | 146,0 |
| 6 . . . . . . . . . . . . . | 180,0 |
| 7 . . . . . . . . . . . . . | 219,0 |
| 8 . . . . . . . . . . . . . | 264,0 |
| 9 . . . . . . . . . . . . . | 311,0 |
| 10 . . . . . . . . . . . . . | 362,0 |
| 11 . . . . . . . . . . . . . | 414,0 |
| 12 . . . . . . . . . . . . . | 469,0 |
| 13 . . . . . . . . . . . . . | 527,4 |
| 14 . . . . . . . . . . . . . | 589,0 |
| 15 . . . . . . . . . . . . . | 652,0 |

Pour faciliter les mesures, le colonel Renard a dressé des abaques qui donnent pour chaque moulinet la valeur en chevaux en fonction de la vitesse pour *a*, égale à l'unité *(fig. 1)*.

Par exemple, pour le trou n° 13, celui qui était le plus fréquemment employé dans nos expériences, les valeurs des puissances en chevaux de 75 kgm étaient les suivantes :

| | |
|---|---|
| A 700 tours . . . . . . . . ch. | 2,41 |
| 750 — . . . . . . . . . . | 2,96 |
| 800 — . . . . . . . . . . | 3,60 |
| 850 — . . . . . . . . . . | 4,32 |
| 900 — . . . . . . . . . . | 5,13 |

| | | |
|---|---|---|
| 950 tours | . . . . . . . . . | 6,03 |
| 1 000 — | . . . . . . . . . | 7,03 |
| 1 050 — | . . . . . . . . . | 8,14 |
| 1 100 — | . . . . . . . . . | 9,36 |
| 1 200 — | . . . . . . . . . | 12,10 |

De même pour les valeurs de *a* une abaque permet de déterminer instantanément la correction à faire intervenir pour tenir compte de la pression et de la température.

Au cours de nos expériences, nous avons noté chaque jour la pression et la température moyenne de la journée; en faisant la moyenne des chiffres observés, nous obtenons une pression de 743 mm et une température de 13 degrés; l'abaque nous indique immédiatement une correction correspondante de 0,97 que nous avons fait subir à tous les chiffres relevés.

Lorsque le moulinet est revenu de Vienne, le colonel Renard a bien voulu procéder à un nouveau tarage de l'instrument sur la balance dynamométrique de Chalais-Meudon; nous pouvons donc être assuré que les chiffres de puissance relevés à Vienne correspondent bien à la réalité.

Nous ajouterons que le fonctionnement du moulinet dynamométrique et le principe de sa construction ont vivement intéressé les Ingénieurs et les savants qui nous ont fait l'honneur de visiter la station d'essai; notre collègue du jury, M. Fred. Ross a publié, dans la *Revue d'Électricité*, du 24 mai 1904, un article à ce sujet, intitulé : « Das Windflügel Dynamometer des Obersten Ch. Renard » avec figures dans le texte.

*Mesure des vitesses.* — Nous avons employé le tachymètre double Darras à chronographe et compte-tours conjugués; nous employions également un chronomètre Paul Garnier donnant le cinquième de seconde.

II. — Groupes De Dion-Bouton.

La maison De Dion-Bouton exposait un premier groupe électrogène, moteur à deux cylindres, de 12 ch, présentant les caractéristiques suivantes :

| | |
|---|---|
| Alésage des cylindres. . . . . . | 90 mm |
| Course des pistons . . . . . . . | 110 — |
| Calage des manivelles . . . . . | 180 degrés |
| Vitesse de régime . . . . . . . | 1 500 tours |
| Puissance . . . . . . . . . . | 6 600 watts |

Nombre de lampes à incandescence à alimenter :

| | | |
|---|---|---|
| Lampes | de 10 bougies. . . . . . | 190 |
| — | de 16 bougies. . . . . . | 118 |
| — | de 32 bougies. . . . . . | 58 |

Dynamo à 4 pôles, induit tambour excitation en dérivation; poids du groupe : 450 kg environ.

Les lampes, qui servaient à l'éclairage de la section française, étaient disposées en guirlandes et revêtues de fleurs multicolores en soie d'un heureux effet.

Ce groupe a fonctionné tous les soirs sans aucun arrêt; il était alimenté exclusivement à l'alcool carburé.

Le second groupe De Dion-Bouton était du type 4,5 ch, dont les caractéristiques sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Alésage des cylindres . . . . | 84 mm |
| Course des pistons. . . . . . | 90 — |
| Vitesse de régime. . . . . . | 1 500 tours |
| Puissance. . . . . . . . . . | 2 200 watts |
| Poids du groupe . . . . . . | 250 kg |

Les résistances étaient constituées par une batterie de lampes à incandescence permettant de disposer dans le circuit soit des lampes individuelles, soit des rangées de 10 lampes à incandescence. Un robinet à trois voies monté sur la tubulure d'admission, permettait d'essayer comparativement plusieurs types de carburateurs.

Ce groupe, qui nous avait été gracieusement prêté par MM. de Dion-Bouton en vue des essais à faire à Vienne, a servi aux expériences d'alcools carburés français et autrichiens ainsi qu'aux expériences préliminaires avec l'alcool pur ; les chiffres obtenus avec l'alcool pur ne sont pas comparables à ceux obtenus avec l'essence dans les mêmes moteurs, car le faible rapport de la course au diamètre ne permet pas la détente complète de l'alcool. De plus, la distribution électrique de l'exposition à courant alternatif ne nous a pas permis de monter les dynamos par excitation indépendante, comme nous aurions désiré le faire pour assurer l'exactitude absolue de nos expériences.

Sur le groupe de 10 ch, nous avons utilisé successivement l'alcool carburé, exposé par M. Hache sous le nom de *Duruptine*, l'alcool carburé Leprêtre, qui porte le nom d'*Électrine*, et de

l'alcool que nous préparions nous-mêmes à Vienne, en mélangeant en parties égales du benzol de bonne qualité avec de l'alcool dénaturé pour moteur autrichien.

### III. — Moteurs Brouhot.

MM. Brouhot et Cie, de Vierzon (Cher), avaient envoyé deux types de moteurs, tout différents : l'un était un moteur de 6 ch, type horizontal à un cylindre tournant à faible vitesse, spécialement étudié pour les applications industrielles et agricoles.

Les caractéristiques de ce moteur sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Alésage . . . . . . . . . . . . . | 190 mm |
| Course. . . . . . . . . . . . . . | 280 — |
| Nombre de tours par minute . . . | 200 |

Ce moteur est muni d'un carburateur automatique avec vaporisateur Brouhot. Le distributeur commandé, employé depuis longtemps par MM. Brouhot et Cie notamment lors du concours international organisé par le Ministre de l'Agriculture, a été remplacé par un carburateur à giclage analogue à celui qui est employé sur les automobiles du même constructeur.

Grâce à son vaporisateur, ce moteur fonctionnait indistinctement à l'alcool pur ou à l'alcool carburé ; malheureusement son installation ne nous permettait pas de lui adjoindre une résistance réglable, l'emploi d'un frein n'étant pas possible à l'exposition, par crainte d'un accident.

Le second moteur exposé par MM. Brouhot et Cie était du type d'automobile vertical, type 12 ch ; ses caractéristiques étaient les suivantes :

| | |
|---|---|
| Nombre de cylindres. . . . . . . | 4 |
| Alésage . . . . . . . . . . . . . | 90 mm |
| Course . . . . . . . . . . . . . | 100 — |
| Nombre de tours à la minute . . . | 1 000 |
| Calage des manivelles . . . . . . | 180 degrés |
| Soupapes d'admission commandées. | |

Ce moteur fonctionnait à l'alcool carburé 50 0/0 et était muni d'un carburateur à giclage du type automobile sans vaporisateur.

### IV. — Moteurs Tony Huber.

M. Tony Huber avait exposé dans la section plusieurs types de ses moteurs d'automobiles quatre cylindres qui n'étaient pas en fonctionnement.

A côté de ceux-ci, ce constructeur exposait en fonctionnement un moteur deux cylindres verticaux, type automobile 9 ch, dont les caractéristiques sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| Alésage. . . . . . . . | 100 mm |
| Course . . . . . . . . | 105 — |
| Vitesse de régime. . . | 1 150 tours |
| Calage des manivelles . | 180 degrés. |

Ce moteur, dont les soupapes d'admission sont commandées, a fonctionné à l'Exposition de Vienne uniquement à l'alcool carburé 50 0/0, et était muni d'un carburateur Longuemare.

## CHAPITRE II

## Étude des alcools étrangers.

Un élément d'appréciation nous a manqué à Vienne au moment où nous faisions les essais, c'était de savoir exactement la composition chimique et les caractéristiques calorimétriques de certains alcools sur lesquels nous opérions.

En effet, dans presque tous les pays, notamment en Autriche, en Italie et en Russie, la composition du dénaturant est tenue secrète et subit même périodiquement des transformations en vue d'éviter la fraude. Nous n'avons pas voulu présenter à la Société des Ingénieurs Civils un travail incomplet sur ce point, aussi avons-nous prié un chimiste très distingué de nos amis, M. Boulanger, auquel les questions relatives à l'alcool sont très familières, de bien vouloir analyser les échantillons que nous avions rapportés d'Autriche, malgré les rigueurs de la douane française et nous sommes heureux de lui adresser ici tous nos sincères remerciements.

Notre étude a porté sur les diverses catégories d'alcools dénaturés autrichiens, sur les divers types d'alcools dénaturés allemands, sur les alcools dénaturés italien, russe et suisse, comparativement à l'alcool dénaturé français; elle comprend une étude chimique et une étude expérimentale mécanique de chacun d'eux.

## I. — Étude chimique.

Les dénaturants connus étant le méthylène, les bases pyridiques, l'acétone, c'était sur ces produits que notre attention était principalement appelée ; voici succinctement les méthodes chimiques employées pour déterminer les teneurs respectives de ces dénaturants.

Le *méthylène* $CH^4O$ a été dosé par la méthode de M. Trilliat qui a l'avantage d'une très grande commodité.

Après oxydation, l'alcool est condensé avec la diméthylaniline, la base ainsi formée donne en présence du bioxyde de plomb et de l'acide acétique une coloration bleue intense. Pour l'analyse quantitative, la base ainsi formée a été extraite au moyen de l'éther et pesée.

Cette méthode permet de comparer les alcools à essayer avec un alcool type, qu'on dénature avec 10 0/0 de méthylène pur et les résultats obtenus sont tout à fait comparables.

La *pyridine* $C^5H^5Az$ ou plutôt les bases pyridiques multiples qu'on emploie dans la plupart des pays, a été dosée par précipitation au moyen du chlorure de cadmium.

Quant à *l'acétone*, qui est contenu dans tous les méthylènes employés pour la dénaturation, il a été dosé par la méthode volumétrique de Messinger basée sur la transformation de l'acétone en iodoforme par un excès d'iode en solution alcaline.

L'iode en excès entre en dissolution sous forme d'hypoiodite de potassium et d'iodure de potassium. Après formation de l'iodoforme, en acidifiant le produit de la réaction, cet iode se trouve mis en liberté et est déterminé par un titrage avec une solution d'hyposulfite, puisque l'on sait qu'une molécule d'acétone consomme trois molécules d'iode.

Le dosage du *benzol* a été fait par séparation au moyen d'une solution demi-saturée de chlorure de sodium qui donne après dépôt une mesure volumétrique d'une exactitude très suffisante.

Grâce à ces analyses, nous avons pu comparer les dénaturants tant au point de vue de leur composition chimique que des résultats pratiques indiqués dans les expériences mécaniques.

Nous ajouterons que pour que ces essais soient tout à fait complets, il serait nécessaire de déterminer expérimentalement

la puissance calorifique des divers liquides, la détermination de cette donnée ne pouvant se faire exactement par le calcul, étant données les compositions complexes des divers éléments de dénaturation.

## II. — Organisation des essais mécaniques.

Le moteur Gobron-Brillié a d'abord été essayé en employant exclusivement l'alcool français; nous avons commencé par déterminer la position des plans du moulinet Renard qui correspondaient à la puissance moyenne à obtenir. Cette étude nous a indiqué qu'il y avait lieu de s'arrêter à la position des plans correspondant au trou n° 13.

Ceci établi, nous avons étudié successivement et alternativement les alcools étrangers. Pour chaque essai, le moteur était d'abord mis en marche pendant dix minutes à l'alcool carburé contenu dans le réservoir n° 1; après ce laps de temps, nécessaire pour avoir un réchauffage constant du carburateur, l'alcool étalon (français ou étranger, suivant le cas), qui emplissait le réservoir n° 2, était introduit.

Nous réglions alors le carburateur au moyen du pointeau jusqu'à ce que l'échappement ne nous révèle plus aucun excès de combustible, et, quand le régime était établi, nous procédions à une mesure de vitesse et nous relevions, en général, un diagramme pour constater que tout était en bon fonctionnement. Nous avions ainsi tous les éléments du calcul de la puissance.

Alors, sans changer le réglage du carburateur, nous passions de l'alcool étalon à l'alcool à essayer contenu dans le réservoir n° 3, sans arrêter le moteur, bien entendu, et environ cinq minutes après, nous relevions une mesure de vitesse. Si la puissance développée était inférieure à celle de l'alcool étalon, nous cherchions à améliorer la marche en modifiant, — tout en observant l'échappement, — le réglage du pointeau du carburateur et nous notions la puissance maxima obtenue; un diagramme fermé et un diagramme Mathot étaient alors relevés.

Si la puissance développée était supérieure à celle de l'alcool étalon, nous procédions comme il vient d'être dit, sans rien changer.

Ces expériences préliminaires effectuées, nous cherchions, par une série de tâtonnements, à relever la consommation, tout en maintenant la puissance entre des limites normales.

Les chiffres étaient vérifiés au cours des essais suivants, dans les conditions identiques de marche, mais sans tâtonnements.

Les résultats que nous avons obtenus ont été, autant que possible, contrôlés à plusieurs reprises, mais on comprendra que, disposant de quantités limitées de certains alcools, nous n'ayons pu relever en certains cas qu'un nombre restreint d'observations; aussi nous sommes-nous attaché à publier surtout des chiffres moyens.

Il ne faut pas oublier, en effet, que la marche du moteur à explosions est facilement influencée par les conditions extérieures du fonctionnement, notamment celles qui résultent de l'état hygrométrique de l'air, font varier les résultats dans une assez large mesure, sans que le calcul puisse venir en aide pour une rectification exacte.

### A. — Alcool français.

Il est intéressant de rappeler tout d'abord que l'alcool est dénaturé en France de la façon suivante :

Dans 1 hl d'alcool à 90 degrés, c'est-à-dire contenant 10 0/0 d'eau, on ajoute :

10 l de méthylène à 90 degrés contenant 25 0/0 d'acétone et 5 0/0 au moins d'impuretés hydrogénées qui donnent au produit une odeur empyreumatique;

0,5 l de benzine lourde, type Régie, c'est-à-dire notoirement impure, ainsi qu'en témoignent, du reste, la vue et l'odorat.

Sa densité est en général de 0,832, il titre 89 à 90 degrés.

Il n'y a en France qu'un type d'alcool dénaturé; malgré tous les concours et les congrès organisés par le Ministère de l'Agriculture, les Sociétés d'Agriculture et l'Automobile-Club de France, on n'a pas encore pu décider l'administration des Contributions indirectes à modifier la composition de son dénaturant, même en ce qui concerne l'alcool destiné aux moteurs à explosion (1).

### B. — Alcool autrichien.

Or il existe trois sortes d'alcools dénaturés. La composition des dénaturants est secrète en Autriche :

1° L'alcool à brûler *(Brennspiritus)* titrant 90 degrés d'alcool pur, c'est-à-dire contenant 10 0/0 d'eau.

(1) *La Dénaturation de l'alcool*, par M. René Duchemin *(Revue générale de Chimie pure et appliquée)*.

Cet alcool a été dénaturé, jusqu'en 1904, au moyen d'un dénaturant général contenant 100 volumes de méthylène, 25 volumes de pyridine et 1 volume d'une solution de phénolphtaléine; on ajoutait 2,5 0/0 de ce dénaturant par hectolitre d'alcool absolu, c'est-à-dire qu'il contenait 2,5 0/0 de méthylène, 0,5 0/0 de pyridine et un peu de phénolphtaléine.

Toutefois, l'analyse nous a révélé que ces proportions ont été changées en 1904 : l'alcool autrichien qui nous a été vendu à Vienne contenait :

| | |
|---|---|
| Méthylène | 5 0/0 |
| Pyridine | 0,5 0/0 |

et une petite quantité de phtaléine du phénol (éther phtaléique du phénol) qui a pour formule :

$$\begin{array}{l} CO - C^6H^4 \\ \;| \qquad\;\; | \\ O - C < \begin{array}{l} C^6H^4OH \\ C^6H^4OH \end{array} \end{array}$$

La densité du Brennspiritus est de 0,835 à 15 degrés; il est presque incolore, son odeur est faible et très légèrement empyreumatique; il titre 90 degrés à l'alcoomètre.

2° L'alcool pour lampes *(Lampenspiritus)* diffère du précédent en ce qu'il titre 95 degrés, c'est-à-dire qu'il ne contient que 5 0/0 d'eau; de ce fait, sa densité à 15 degrés est 0,819 seulement.

Il est dénaturé, comme le précédent, dans la proportion de 5,5 0/0, mais sa coloration est légèrement plus foncée; son odeur révèle nettement la différence de degré alcoolimétrique;

3° L'alcool moteur *(Motorspiritus)* (1) doit contenir obligatoirement 80 volumes d'alcool pur et 2,5 0/0 de benzol ou d'essence *au minimum;* il est dénaturé par un demi 0/0 du dénaturant indiqué ci-dessus, qui est établi par la Commission officielle des mélanges du Ministère des Finances et peut être changée aussi souvent que cela est reconnu nécessaire; en tous cas, les essais chimiques qui ont été faits ont montré que sa régénération était très difficile.

L'alcool moteur autrichien est coloré au moyen du méthylviolet, dont la belle teinte permet de distinguer, à première vue, l'alcool moteur de l'alcool à brûler ordinaire et de l'alcool pour

(1) Renseignements communiqués par le docteur F. Dafert, directeur de la *K. K. Landw. Chem. Versuchsstation*, Trummerstrc 3, Wien.

les lampes. Le méthylviolet, appelé aussi violet de Paris, est un chlorhydrate de la pentaméthylpararosaniline et a pour formule :

$$C \begin{cases} C^6H^4Az(CH^3)^2 \\ C^6H^4Az(CH^3)^2 \\ C^6H^4Az(CH^3)HCl \end{cases}$$

Sa densité, ramenée à 15 degrés, est de 0,826; son odeur est presque agréable.

Les alcools des trois catégories nous étaient vendus, à l'Exposition de Vienne, par un concessionnaire exclusif de l'Administration au prix de 30 Couronnes, soit 31,50 f l'hectolitre.

Nos essais ont porté surtout sur l'alcool moteur autrichien, qui nous a servi d'étalon après qu'il a été comparé à l'alcool francais, dont nous n'avions emporté qu'une quantité restreinte.

Les chiffres moyens de puissance ont été les suivants :

| | |
|---|---|
| Alcool moteur autrichien . . . | 547,4 kgm |
| — lampes — . . . | 254,8 |
| — à brûler — . . . | 352,4 |

Le minimum obtenu avec l'alcool à 95 degrés montre bien l'avantage de la présence d'une proportion d'eau assez considérable dans l'alcool utilisé pour la force motrice; la comparaison de nos chiffres montre, d'autre part, tout l'avantage qu'on retire de l'emploi obligatoire du benzol dans la dénaturation, car le chiffre minimum que nous avons obtenu avec l'alcool moteur (403 kgm) est encore supérieur aux chiffres obtenus avec les alcools dénaturés sans benzol.

La puissance moyenne de 547 kgm obtenue avec l'alcool moteur correspond au chiffre de 7,3 ch ; la puissance maxima a atteint dans un essai 10,9 ch.

L'alcool à brûler donne une puissance moyenne de 4,7 ch, analogue à celle qui est fournie par l'alcool français; l'alcool pour lampes ne donne que 3,4 ch dans les mêmes conditions.

Nous n'avons constaté aucun encrassement avec l'alcool moteur, bien que les nombreux essais du début aient donné lieu à d'inévitables tâtonnements; l'alcool dénaturé ordinaire et surtout l'alcool à 95 degrés, n'ont pas présenté la même facilité d'emploi.

Les essais de consommation, qui ont été très nombreux, ont accusé des différences assez sensibles suivant l'état d'échauffement du carburateur et son réglage; en éliminant ceux de ces

essais qui ont été faits dans des conditions anormales (comme ceux du début des expériences, par exemple), on trouve, en moyenne, une consommation de 747 g par cheval-heure, le moteur travaillant à demi-charge.

Il n'a été fait que quelques essais de consommation avec l'acool de chauffage; ces essais ne présentaient pas un intérêt pratique comparable à celui de l'alcool moteur, le chiffre moyen obtenu a été de 1040 g par cheval-heure avec ce combustible.

### C. — Alcools allemands.

L'Allemagne a, comme l'Autriche, plusieurs sortes d'alcools dénaturés, et il n'est pas inutile de rappeler ici le rôle primordial joué par la « Centrale für Spiritus Verwerthung » dans le développement des emplois de l'alcool en Allemagne.

1° L'alcool à brûler (*Brennspiritus*) est dénaturé par le dénaturant général, composé de :

4 parties de méthylène;
1 partie de pyridine.

Cet alcool contient 2,5 0/0 de ce dénaturant; on peut donc dire que sa dénaturation est faite, par hectolitre d'alcool à 90 degrés, par :

| | |
|---|---|
| Méthylène . . . . . . . . . . | 2 0/0 |
| Bases pyridiques. . . . . . . | 0,5 0/0 |

il est incolore, d'odeur moyenne, et sa densité est de 0,819 à 15 degrés. Son odeur rappelle celle de l'alcool pour lampes autrichiennes, mais sa coloration jaune est plus faible, il titre 94 degrés à l'alcoomètre.

2° L'alcool moteur (*Motorspiritus*) est dénaturé au moyen de 1,25 0/0 de dénaturant général, soit par :

| | |
|---|---|
| Méthylène . . . . . . . . . . | 1 0/0 |
| Bases pyridiques. . . . . . . | 0,25 0/0 |

auxquels on ajoute, obligatoirement, au moins 2 0/0 de benzol.

Il contient, en outre, 0,25 0/0 de krystallviollett ou violet de Paris, dont nous avons donné ci-dessus la formule.

Sa couleur lilas est un peu plus pâle que celle de l'alcool moteur autrichien; son odeur est légèrement plus empyreumatique que celle de ce dernier. Sa densité, à 15 degrés, est de 0,825; il titre 92 degrés.

L'alcool que nous avons employé, à Vienne, nous a été envoyé gracieusement de Berlin, par les soins du professeur Vittelshoeffer.

Le prix de vente de l'alcool, en Allemagne, est de 25 à 28 marks, soit de 30 à 35 f l'hectolitre, suivant les quantités; le prix est sensiblement constant, c'est-à-dire qu'il n'est pas influencé par les cours, grâce à l'organisation de la « Centrale ».

Les chiffres de puissance moyenne des deux alcools allemands sont les suivants :

| | |
|---|---|
| Alcool moteur . . . . . . . . . | 502,8 kgm |
| — à brûler. . . . . . . . . | 262,5 — |

La puissance moyenne en chevaux a donc été de 6,7 et à la puissance maxima de 11,7 ch; le chiffre de puissance moyenne nous paraît être un peu inférieur à ce qu'il aurait dû être, et ceci peut s'expliquer en raison de ce qu'un nombre assez restreint d'essais a été fait, la provision envoyée d'Allemagne n'étant pas tout à fait suffisante pour des essais de force motrice.

La puissance obtenue avec l'alcool à brûler a été en moyenne de 3,5 ch, avec un maximum péniblement atteint de 7,3 ch et ces chiffres viennent corroborer les similitudes de composition de l'alcool à brûler allemand avec l'alcool pour lampe autrichien.

Aucun encrassage ni attaque des soupapes n'a été constaté par l'alcool moteur allemand.

Quant à la consommation spécifique avec l'alcool moteur, elle est un peu supérieure à celle constatée avec l'alcool moteur autrichien, et atteint 835 g par cheval-heure, le moteur travaillant à demi-charge.

Un essai de consommation de l'alcool de chauffage a donné le chiffre de 1 080 g, analogue à celui qui a été trouvé pour l'alcool autrichien.

### D. — Alcool russe.

L'État russe, qui a monopolisé la vente de l'alcool de consommation en bouteilles remplies et cachetées par lui, n'avait pas, jusqu'à ces dernières années, dénaturé l'alcool.

Toutefois, à l'Exposition de Vienne, la Russie avait exposé quelques bouteilles d'alcool dénaturé, dont la plus grande partie a été mise à notre disposition avec une extrême bonne grâce, par M. le Commissaire Général russe et son délégué, le docteur Fichtengoldt.

Le dénaturant qui a été employé à titre d'essai est tenu secret; toutefois, l'odeur révèle une notable proportion de méthylène, que l'analyse chimique confirme; la teneur en méthylène est d'environ 10 0/0, auxquels il faut ajouter 5 0/0 d'acétone et 0,5 0/0 de pyridine; il est coloré par une trace de violet d'anhyline, qui lui donne une teinte lilas clair; ce colorant, qui porte le nom de violet Hofmann, est un chlorhydrate de triethylrosaniline, et a pour formule :

$$C \left\{ \begin{array}{l} C^6H^3.CH^3.AzH.C^2H^5; \\ C^6H^4.AzH.C^2H^5; \\ C^6H^4.AzH.C^2H^5Cl; \end{array} \right.$$

sa densité à 15 degrés est de 0,836, il titre 90 degrés à l'alcoomètre; son prix de vente n'a pas encore été fixé.

Nous avons obtenu une puissance moyenne de 524,8 kgm, correspondant à 7 ch; la puissance maxima a été de 10,5 ch; ses qualités se rapprochent donc assez de celles de l'alcool autrichien, ce qui serait en contradiction avec son mode de dénaturation, si nous ne savions que l'alcool exposé à Vienne n'était autre que de l'alcool de bouche sortant des usines de l'État russe, et dénaturé en vue de l'Exposition, la bonne qualité de l'alcool venant ainsi compenser la forte proportion du dénaturant.

La consommation spécifique de l'alcool russe ressort à 984 g par cheval-heure, le moteur donnant sensiblement 7 ch. Pas d'attaque des soupapes, mais un dépôt assez sensible de goudron a été constaté au cours de plusieurs essais.

### E. — Alcool italien.

Grâce à l'amabilité de M. le Président de la Chambre de Commerce française de Milan, nous avons pu faire venir d'Italie une dizaine de litres d'alcool dénaturé italien.

La composition du dénaturant est tenue secrète par l'Administration italienne, mais nous savons, par l'analyse, qu'il se compose de 8,5 0/0 de méthylène impur, de 0,65 0/0 de bases pyridiques, et d'environ 1 0/0 de benzol; il est légèrement coloré par du violet d'anhyline, comme l'alcool russe.

On vend le mélange de dénaturation 1,27 f le litre, et les dénaturateurs sont obligés d'employer 3 l par hectolitre d'alcool pur à dénaturer; le coût de cette dénaturation revient donc à 3,50 f par hectolitre.

La Société italienne des Alcools, à Milan, vend l'alcool dénaturé à raison de 70 f l'hectolitre, frais de dénaturation compris; ce prix est certainement prohibitif des emplois industriels.

L'alcool dénaturé italien a une densité de 0,835; il est rose, tirant légèrement sur le jaune; son odeur n'est pas très désagréable, bien qu'on perçoive nettement l'odeur du méthylène. Il titre à l'alcoomètre 90 degrés.

La puissance moyenne obtenue, à Vienne, a été de 562 kgm, correspondant à 7,5 ch, avec une puissance maxima de 10 ch environ. Un léger dépôt de goudron et de coke a été constaté, mais sans qu'il eût en rien gêné le fonctionnement du moteur.

La consommation spécifique a été de 931 g par cheval-heure, le moteur donnant 7 ch.

### F. — Alcool suisse.

Nous avons fait venir de Winterthur, grâce aux bons soins de la Société suisse de Construction de locomotives et de machines, une vingtaine de litres d'alcool dénaturé suisse titrant 89°,4 d'alcool pur.

Cet alcool est vendu 46 f l'hectolitre en Suisse. Il est dénaturé avec une proportion de 5 0/0 de méthylène, 0,32 l de pyridine, et 2,2 0/0 d'huile d'acétone, qui lui donne une odeur franchement désagréable; sa densité est de 0,837; sa couleur opaline tire légèrement sur le jaune.

La puissance moyenne obtenue avec cet alcool a été de 442 kgm soit 5,9 ch, avec un maximum de 9,8 ch.

La consommation spécifique a été forte, puisqu'elle a été de 1 048 g par cheval-heure, le moteur donnant 8 ch. Nous n'avons constaté aucun encrassage nuisible au bon fonctionnement.

### G. — Alcools anglais et hollandais.

Bien que nous n'ayons pas essayé ces alcools à Vienne, nous rappellerons, pour mémoire, que l'alcool est dénaturé en Angleterre, avec 11 0/0 de méthylène, et en Hollande avec 15 0/0 de méthylène.

### H. — Alcools carburés.

Les essais que nous avons faits au moyen de l'alcool carburé ont évidemment donné des résultats moins nets que ceux obtenus avec l'alcool pur, ceci tient à deux causes :

D'une part nous avons employé, en Autriche, du benzol dont nous ne connaissions pas les qualités, respectivement à celles qui ont servi à constituer l'Électrine (alcool carburé Leprêtre), qui nous servait d'étalon.

D'autre part, nous avons employé l'alcool carburé principalement sur les moteurs qui n'étaient pas disposés pour marcher à l'alcool pur; enfin, d'un autre côté, le réchauffage du carburateur Longuemare disposé pour marcher avec les alcools purs sur le moteur Gobron-Brillié était trop intense pour marcher couramment à l'alcool carburé.

La densité du benzol employé à Vienne était, en moyenne, de 0,884; il en résultait que la densité de l'alcool carburé variait de 0,842 à 0,855 suivant les alcools employés; l'Électrine avait une densité de 0,850.

En mélangeant par parties égales du benzol avec des alcools dénaturés pour moteurs autrichien, suisse et italien, nous avons obtenu des alcools carburés qui ont été utilisés dans les groupes de Dion-Bouton, les moteurs Brouhot et le moteur Tony Huber.

Les quantités d'alcools allemand et russe mises à notre disposition étaient insuffisantes pour nous en permettre l'emploi à l'état d'alcools carburés.

Les chiffres relevés avec l'alcool carburé autrichien sont assez semblables, du reste, à ceux obtenus avec l'Électrine; la puissance sur le moteur Gobron-Brillié a varié de 2,9 à 6,1 ch; elle a toujours été inférieure aux chiffres maxima obtenus avec l'alcool pur pour les raisons données plus haut.

La consommation, au contraire, a été beaucoup meilleure, puisque, pour une puissance de 5 à 6 ch, elle a varié entre 0,733 l et 0,800 l, soit de 0,620 g à 0,700 g par cheval-heure.

*Duruptine.* — Nous avons employé avec succès la Duruptine dans le groupe électrogène 12 ch de Dion-Bouton, qui servait à l'éclairage de la section française.

La rapidité de la mise en marche, la constance de la puissance développée et l'élévation de cette puissance, se traduisant par l'éclat des lampes à incandescence, ont été vivement appréciées.

La Duruptine est un alcool carburé au moyen d'un procédé breveté, par M. Hache; ce procédé consiste (1) à mélanger du pétrole brut et de l'alcool dénaturé, et à distiller le mélange, en recueillant le produit distillé jusqu'à 78-80 degrés; dans ces con-

(1) *L'Alcool industriel*, 10 févr. 1905. Brevet français du 22 août 1903.

ditions, l'alcool se charge des produits volatils de l'hydrocarbure ayant sensiblement la même densité que lui, et ayant un point d'ébullition voisin ou inférieur à 78 degrés; on obtient ainsi un produit homogène, qui a été étudié par M. Sidersky, et qui contient jusqu'à 33 0/0 de carbures légers (essences et éthers de pétrole); sa densité est de 0,830 à 15 degrés.

La puissance obtenue à la station d'essais avec la Duruptine a été nettement plus élevée que celle que nous obtenions avec l'alcool carburé que nous fabriquions sur place; sa consommation n'a pas dépassé, en marche courante, une moyenne de 0,600 g par cheval-heure, ce qui est le résultat intéressant à noter avec un liquide contenant deux tiers d'alcool.

Inutile d'ajouter que nous n'avons constaté aucun dépôt de goudron ni attaque de métal avec l'un ou l'autre des alcools carburés.

## CHAPITRE III

## Conclusions à tirer au point de vue français de l'étude des alcools étrangers.

La comparaison de chiffres obtenus à la station d'essai de l'Exposition de Vienne avec les alcools français et les alcools étrangers, nous permet de tirer quelques conclusions intéressantes pour notre pays.

En ce qui concerne les *puissances maxima* obtenue par le moteur Gobron-Brillié, nous avons :

| | |
|---|---|
| Alcool moteur allemand | 11,7 ch |
| — — autrichien | 10,9 |
| — russe | 10,5 |
| — moteur italien | 10 |
| — suisse | 9,8 |
| — français | 9,75 |

L'alcool français nous a donné moins de puissance que tous les autres produits, mais sa puissance a été supérieure à celle obtenue sur les alcools à brûler autrichien et allemand, ce qui confirme, une fois de plus, l'action favorable d'une certaine proportion d'eau dans les combustibles destinés à la force motrice.

En fonctionnant à mi-charge, les chiffres obtenus ont été les suivants :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Alcool mot^r italien . . | 7,5 ch | Alcool mot^r allemand. | 6,7 ch |
| — — autrichien. | 7,3 | — suisse. . . . . | 5,9 |
| — russe . . . . . | 7 | — français . . . . | 4,8 |

Bien que l'ordre ne soit pas le même pour les alcools étrangers, l'alcool français conserve sa place inférieure ; viennent ensuite :

| | |
|---|---|
| Alcool à brûler autrichien 90°. . . . . | 4,7 ch |
| — — allemand 94° . . . . . | 3,5 |
| — pour lampes autrichien 95°. . . | 3,4 |

En ce qui concerne la *consommation*, l'alcool français reprend une place un peu meilleure; les chiffres relevés ont été ramenés aux poids, seul moyen d'établir des comparaisons exactes entre des alcools ayant des densités différentes; nous avons ainsi :

| | | |
|---|---|---|
| Alcool moteur autrichien . . | 747 g | par cheval-heure. |
| — — allemand . . | 835 | — |
| — — italien. . . | 931 | — |
| — français. . . . . . . | 932 | — |
| — russe. . . . . . . . | 984 | — |
| — suisse . . . . . | 1 048 | — |

A côté de ces renseignements numériques, il nous a semblé utile de faire ressortir les compositions chimiques comparatives des alcools étrangers en isolant les proportions d'acétone contenues dans les méthylènes des différents pays.

*Proportions du dénaturant par hectolitre d'alcool pur à 90 degrés.*

| | DENSITÉ à 15 degrés | MÉTHYLÈNE (y compris les impuretés pyrogénées) | PYRIDINE ou BASES PYRIDIQUES | ACÉTONE | BENZOL | BENZINE IMPURE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alcool français. . . . . . | 0,832 | 7,5 | » | 2,5 | » | 0,5 |
| — dénaturé allemand. | 0,819 | 1,5 | 0,5 | 0,5 | » | » |
| — moteur allemand . . | 0,825 | 0,75 | 0,25 | 0,25 | 2 | » |
| — dénaturé autrichien . | 0,835 | 3,75 | 0,5 | 1,25 | » | » |
| — moteur autrichien . . | 0,826 | 0,5 | traces | traces | 2,5 | » |
| — russe. . . . . . . . | 0,836 | 10 | 0,5 | 5 | » | » |
| — moteur italien. . . . | 0,835 | 6,5 | 0,65 | 2 | 1 | » |
| — suisse. . . . . . . . | 0,837 | 5 | 0,32 | 2,2 | » | » |

Fig. 2.

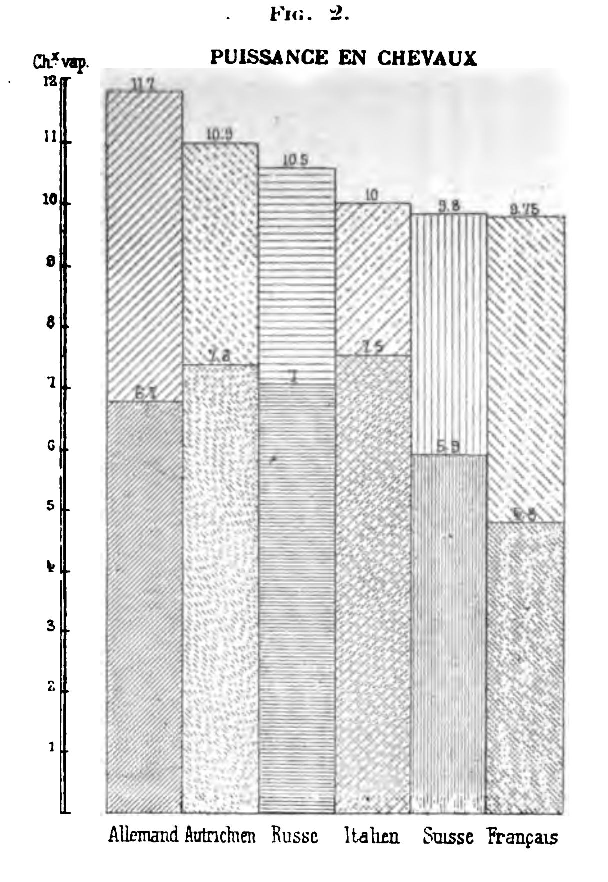
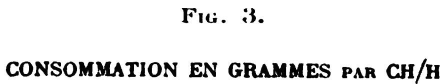
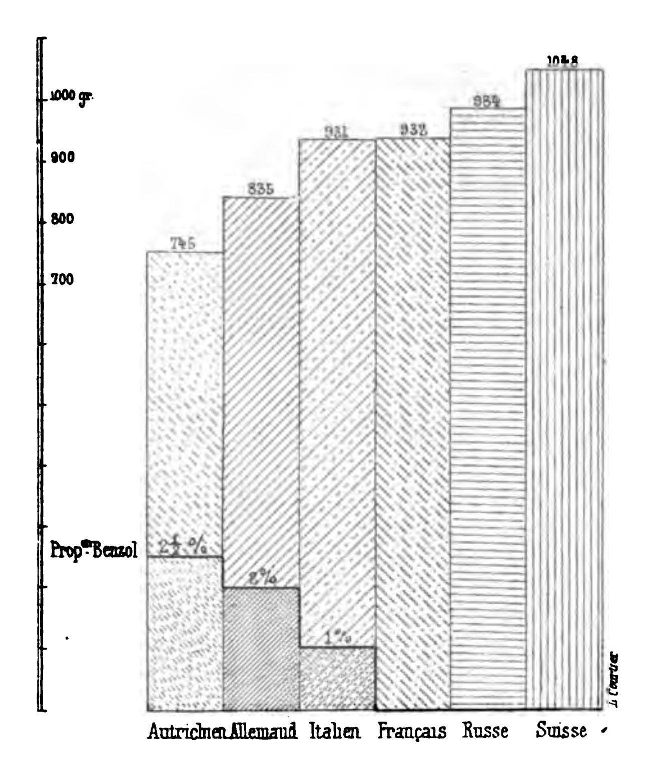

PUISSANCE EN CHEVAUX
Ch^x vap.
12
11
10
8
8
7
6
5
4
3
2
1
11.7
10.9
10.5
10
9.8
9.75
7
7.5
5.9
Allemand
Autrichien
Russe
Italien
Suisse
Français

Fig. 3.


CONSOMMATION EN GRAMMES PAR CH/H


1000 gr.
900
800
700
Prop^on Benzol
745
835
931
932
984
1048
2½ %
2%
1%
Autrichien
Allemand
Italien
Français
Russe
Suisse

L'alcool français arrive donc, au point de vue de la consommation, après les alcools moteurs contenant du benzol en proportions variables suivant les pays et, au contraire, il précède les alcools étrangers sans benzol. On peut donc affirmer que la présence d'une proportion de benzol dans le dénaturant est des plus favorables pour compenser la pauvreté relative en calories de l'alcool qui se fait particulièrement sentir dans les essais de consommation *(fig. 2)*.

Faisons observer ici que les chiffres obtenus par nous, à Vienne, ne pouvaient pas être comparés avec ceux qui ont été relevés au cours des expériences faites en 1901 et 1902 à la station des machines agricoles de Paris; en effet, dans ce dernier cas, il s'agissait de comparer des moteurs en utilisant un combustible unique, tandis que les expériences de Vienne avaient, au contraire, pour but de comparer les combustibles entre eux, en utilisant un appareil unique.

Nous pouvons donc tirer de l'étude comparative des alcools étrangers et français, dont nous avons eu l'honneur d'être chargé à l'Exposition de Vienne, les conclusions suivantes :

Nous avons eu le regret de constater que :

1° L'alcool français donne moins de puissance que tous les alcools étrangers, toutes choses égales d'ailleurs;

2° L'alcool français donne une consommation en cheval-heure plus considérable que les alcools étrangers dénaturés spécialement en vue de la force motrice et dont le dénaturant comporte obligatoirement une proportion plus ou moins élevée de benzol.

Cette double infériorité de l'alcool français par rapport aux alcools étrangers a pour cause, à notre avis, la dose massive de méthylène et l'impureté obligatoire de la benzine-régie employée dans le dénaturant français. Nous différons donc complètement d'avis avec M. Duchemin qui, dans une étude très documentée parue dans la *Revue Générale de Chimie pure et appliquée*, a conclu qu'en France tout était pour le mieux, avec un mode de dénaturation que l'Europe devrait nous envier.

L'alcool étranger, dont les résultats au point de vue de la puissance et de la consommation ont été les plus favorables à la force motrice, a été *l'alcool moteur autrichien* dénaturé au moyen de benzol de bonne qualité et d'une très faible proportion du dénaturant général qui n'abaisse pas sensiblement les qualités motrices de l'alcool pur.

Il convient d'ajouter que la Station d'essais de la Section française a reçu la visite de nombreuses personnalités de la Cour d'Autriche et du monde scientifique austro-hongrois.

Sa Majesté l'Empereur François-Joseph nous a fait l'honneur de s'arrêter longuement à la Station lors de sa visite de l'Exposition; l'archiduc Reiner, le comte Golukowski, ministre des Affaires étrangères, M. de Koerber, ministre d'État, ont bien voulu nous donner l'assurance qu'ils s'intéressaient vivement aux travaux entrepris par la Section française.

Enfin, les Sociétés d'Ingénieurs autrichiens, les Professeurs des Écoles techniques de Vienne et de Brünn, l'Automobile-Club d'Autriche, ont fait à la Station d'essai des visites nombreuses et répétées qui témoignaient de l'intérêt qu'ils portaient aux essais effectués sous les yeux du public.

Le Jury International a accordé un Grand-Prix à la Station d'essais qui, avec l'Institut Pasteur et l'École de Douai avaient été classés dans une catégorie spéciale.

La Direction de l'Exposition Internationale des Alcools enfin, a organisé, le 6 mai 1904, une conférence-visite sur les *Études expérimentales des moteurs à alcool*, au cours de laquelle nous avons pu faire la démonstration des expériences en cours d'exécution.

A la suite de cette conférence-visite, la création d'un laboratoire d'essais des alcools a été décidée grâce à la généréuse initiative d'un technicien éminent, M. A. de Boschan, qui en a fait don au Gouvernement autrichien, et c'est à l'industrie française qu'on a demandé les principaux appareils devant servir à son fonctionnement; nous avons, en effet, reproduit, en la perfectionnant, l'installation qui avait été faite à l'Exposition du moteur Gobron-Brillié et du moulinet dynamométrique du colonel Renard avec les appareils de mesure et de contrôle les plus modernes.

L'étude technique comparative des alcools étrangers, que nous avons eu l'honneur de faire à l'Exposition de Vienne, vient donc apporter de nouveaux arguments en faveur d'une modification du régime actuel en ce qui concerne la dénaturation de l'alcool moteur et nous aurons été heureux d'avoir pu mettre notre modeste concours au service de M. le Ministre de l'Agriculture si nous voyons aboutir cette réforme si désirable pour notre pays au point de vue industriel et agricole.

## ANNEXE

### Moteurs étrangers exposés à Vienne.

Il nous a paru intéressant de faire connaitre quels étaient, à côté des moteurs français, les moteurs exposés à Vienne par les autres nations et les récompenses décernées par le Jury.

I. Langen et Wolf, concessionnaires et constructeurs des moteurs allemands Otto, de Deutz-Cologne. — Ces moteurs sont bien connus en France, où ils sont construits par la Société de constructions mécaniques et de moteurs.

MM. Langen et Wolf, dont les ateliers sont à Vienne, ont une succursale à Buda-Pesth; ils avaient exposé toute une série de leurs moteurs horizontaux de 1, 2, 4, 6, 8 ch, tout à fait analogues comme construction aux moteurs qui sortent des ateliers de Deutz.

Dans la section allemande, la Société Gasmotorenfabrik Deutz exposait directement deux moteurs de 4 et 10 ch et deux locomobiles de 6 et 12 ch. De plus, une locomotive industrielle de ces constructeurs circulait sur une voie étroite installée dans le jardin; sa puissance était de 10 ch, son poids de 6 t environ; elle remorquait des wagonnets industriels portant 5 000 kg de charge utile, à une vitesse maxima de 18 km à l'heure.

II. Oesterreichische Maschinenbau Ak. G. Körting. — Société concessionnaire et constructeur des moteurs allemands Körting, de Hanovre, qui sont non moins connus et réputés que les précédents et qui sont vendus en France par un concessionnaire.

L'exposition de l'Oesterreichische Maschinenbau Ak. G. Körting comprenait un moteur, type ordinaire, de 20 ch horizontal d'un fonctionnement remarquablement doux et un moteur à deux temps à cylindres verticaux qui actionnait une dynamo. Ce moteur, dont un spécimen avait été exposé en décembre 1903 dans le sous-sol du Grand Palais, lors de l'exposition de l'Automobile, n'a pas toujours été d'un fonctionnement très régulier dans les premières semaines de marche. Le moteur Körting à deux temps est construit en 1, 2 et 4 cylindres, qu'on applique, parait-il, aux automobiles et aux bateaux.

A côté de ces deux moteurs, la Compagnie Körting exposait deux modèles : l'un était une coupe de son moteur à deux temps, l'autre était une coupe de son vaporisateur à alcool, qui tous deux avaient été exposés à Paris.

III. Spiritus-Gas und Benzinmotorenfabrik J. Blachke. — Ce constructeur, qui est un des plus anciens industriels d'Autriche, exposait un moteur à alcool de 10 ch et une série de moteurs de plus faibles échantillons sans qu'il ait été possible d'obtenir de renseignements techniques intéressants à leur sujet.

IV. Ganz et Cie, Eisengiesserei und Maschinenfabrik Ak. G., de Buda-Pesth. — La maison hongroise Ganz est une des plus importantes d'Europe et elle a nombre de fois exposé ses moteurs Banki qui, à l'Exposition Universelle de Paris en 1900 notamment, ont été des plus remarqués.

A côté de nombreux appareils électriques, cette Société avait installé, à l'Exposition, un moteur Banki de 16 ch, dans le pavillon des fabricants hongrois situé dans le jardin. Ce moteur de 220 mm d'alésage et 300 mm de course à injection d'eau tournait à 250 tours; il était alimenté avec de l'alcool à 96 degrés, sa consommation ne dépassait pas 430 g par cheval-heure.

La Société Ganz exposait, en outre, un spécimen de ses nouveaux moteurs Banki à deux cylindres qui ont donné d'intéressants résultats.

Le professeur E. Schimanek, de Buda-Pesth, a fait toute une série d'expériences sur les moteurs Banki, en employant comparativement l'essence, l'alcool et le gaz d'éclairage; nous ne parlerons ici que des résultats obtenus avec l'alcool.

Le moteur était de la puissance de 20 ch, muni d'un pulvérisateur double permettant de doser exactement la quantité de combustible et la quantité d'eau injectée; cette double injection s'impose, et l'on ne peut mélanger simplement l'eau à l'alcool car il est impossible de déterminer d'avance la quantité d'eau strictement nécessaire et exactement suffisante pour empêcher les allumages prématurés.

L'alcool employé à ces essais était dénaturé par le mode autrichien de 1903, c'est-à-dire qu'il contenait 2,5 0/0 de méthylène, 0,5 0/0 de pyridine et une petite quantité de phénol-phtaléine ; son poids spécifique était de 0,906 à 18,2 degrés et le degré alcoolimétrique était de 87 à 12 degrés; la puissance calo-

rifique déterminée au moyen du calorimètre de Junker a été trouvée être de 5 370 calories.

Les consommations par cheval-heure ont été de 389 g d'alcool et 202 g d'eau, le rendement a été de 30,2 0/0; en ce qui concerne la perte de chaleur par les parois, elle a été de 32 0/0, la température de l'eau à l'entrée était de 14 degrés, et de 48 degrés à la sortie, ce qui indique évidemment une allure chaude pour un moteur marchant à 225 tours à la minute.

V. J. Polke Motorenfabrik, de Vienne, exposait deux moteurs à alcool de 1 et 3 ch et une locomobile de 6 ch. Système simple et bien étudié, construction soignée. Nous n'avons pu obtenir de renseignements techniques sur ces moteurs.

VI. Karl Pasek, de Prague (Bohème). — Constructeur de pompes et de machines agricoles.

Exposait une petite locomobile de 3 ch et un petit groupe-pompe de 1 ch.

Le moteur est du genre de Dion, mais avec volant extérieur, construction économique et de deuxième ordre, à l'usage des agriculteurs.

VII. Brünn Königsfelder Maschinenfabrik, à Königsfeld près Brünn (Moravie).

Cette usine, qui dépend de la Société de construction de machines et de wagons de Simmering, près de Vienne (autrefois H. D. Schmid), construit des machines agricoles et des moteurs à gaz pauvre (brevet Reichenbach).

Elle exposait, dans la section des moteurs, un moteur horizontal genre Otto, au sujet duquel il n'y a rien à signaler d'intéressant ou de nouveau.

VIII. Tranzl et Cie. Usine à Möoling, près Vienne. — Ces industriels, qui font des moteurs à gaz, des locomotives, des installations hydrauliques et électriques pour l'agriculture exposaient deux locomobiles à alcool de 10 et 15 ch.

Moteur horizontal du type Marienfelde (voir ci-après) tournant à 240 et 220 tours et actionnant par courroie un relais de poulie placée sur le devant de la locomobile. Allumage par magnéto. Construction solide et rustique.

IX. Daimler Motorengesellschaft. — Usines à Cannstadt et Marienfelde, près Berlin (Allemagne), représentée en Autriche par

la Société Daimler autrichienne, qui a son usine à Wiener-Neustadt.

La Société Daimler, qui construit à Cannstadt les voitures Daimler et les voitures Mercédès, a acheté, il y a quelques années, les usines de Marienfelde, près Berlin, où l'on construisait les moteurs à alcool système Altmann.

La Société Daimler a donc continué la construction des moteurs de ce type, qu'elle appelle Daimler-Marienfelde; elle exposait un moteur de 10 ch et un moteur de 2 ch, et deux locomobiles de 6 et 14 ch du même système. La vitesse de ces moteurs varie de 200 à 240 tours par minute.

Une locomobile de ce type a pris part aux concours organisés par le Ministère de l'Agriculture en 1902.

X. BACHRICH ET Cie, Hambourg (Allemagne).

Constructeur du moteur vertical Climax.

Exposait un moteur horizontal de 13 ch, trois moteurs verticaux de 2, 3 et 6 ch et une locomobile de 7 ch. Construction simple et rustique, moteurs faits en séries.

XI. MASCHINENFABRIK J.-E. CHRISTOPH Ak. G., à Görlitz (Silésie), représentée en Autriche par la Ungarische Ak. G. de Buda-Pesth.

Cette Société, qui construit des moteurs d'après les nouveaux brevets du professeur Altmann, l'ancien Ingénieur-Directeur des ateliers de Marienfelde, exposait deux locomobiles de 15/23 ch et 20/30 ch, moteur horizontal.

Système ingénieux et bien construit, mais peut-être encore trop nouveau pour qu'on puisse en apprécier les résultats pratiques; cependant la haute personnalité de l'inventeur est un sûr garant des qualités sérieuses de ces machines.

XII. MOTORENFABRIK OBERUERSEL Ak. G., à Oberürsel, près Francfort-sur-le-Mein.

Il s'agit du moteur Gnome, bien connu en France, du type vertical et horizontal; les constructeurs exposaient des moteurs de 2, 4 et 6 ch, des locomobiles de 4, 6 et 10 ch et une locomotive de 12 ch qui circulait sur une voie ferrée à l'intérieur de la piste des automobiles.

XIII. DÜRR MOTORENGESELLSCHAFT, à Eilenburg, près Leipzig. La maison Dürr exposait deux moteurs fixes de 2,5 et de 4 ch, un

groupe de 6 ch pour agriculture et un petit groupe de bateau de 1 ch.

Bon fonctionnement à l'alcool, construction ordinaire.

XIV. ALEXANDER MONSKI (Eilenburger Eisengiesserei und Maschinenfabrik), à Eilenburg, près Leipzig. Ce constructeur exposait deux groupes-pompes horizontaux qui faisaient fonctionner les jets d'eau; marche excellente, consommation réduite, construction très soignée.

Tels sont, rapidement exposés, les renseignements sur les principaux moteurs exposés à Vienne; essayons de dégager quelques conclusions pratiques de cet examen.

Nous classerons les exposants en quatre catégories :

1° Ceux qui sont bien connus en France et n'avaient rien exposé de très nouveau à Vienne; ce sont, par ordre d'importance, les six maisons suivantes :

Ganz et Cie;
Otto, Langen et Wolf;
Gnome, Oberürsel;
Körting;
Dürr;
Daimler-Marienfelde;
Climax.

2° Les exposants moins connus, mais qui méritent d'être cités parce qu'ils peuvent rivaliser avec nos constructeurs sur le marché européen, sont les maisons autrichiennes de MM. Polke et Blaschke; et, pour les maisons allemandes, les fabriques Christoph, de Görlitz et Al. Monski, d'Eilenburg; cette dernière principalement, ayant exposé des moteurs très remarquables.

3° Quelques maisons autrichiennes exposaient des moteurs destinés à l'agriculture, mais dont les dispositifs adoptés, ni la construction ne méritent une mention.

En terminant, nous indiquons la liste des plus hautes récompenses (Grands Prix) décernées par le Jury du Groupe VI.

Le Jury avait en son sein, comme représentant l'industrie française : MM. René Berge, Coupan, Lévy et de La Valette.

*Hors Concours :*

| | |
|---|---|
| Allemagne . . . . . | Daimler, Motorengesellschaft; |
| France. . . . . . . | De Dion-Bouton. |

*Grand Prix :*

| | |
|---|---|
| Autriche-Hongrie . . | Ganz Ak. G.; |
| — | Langen et Wolf; |
| — | Polke; |
| — | Körting Ak. G. |
| Allemagne . . . . . | Christoph; |
| — | Dentz-Otto; |
| — | A. Monski; |
| — | Oberürsel; |
| — | Dürr. |
| France . . . . . | Brouhot et Cie; |
| — | Tony Huber; |
| — | Société l'Aster. |

# CHRONIQUE

## N° 302.

SOMMAIRE. — Machines à vapeur surchauffée. — Système perfectionné d'écluses. — L'enlèvement de la neige dans les villes. — Prévention du verglas sur le troisième rail des chemins de fer électriques. — Production de l'huile de harengs.

**Machines à vapeur surchauffée.** — Nous trouvons, dans le *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, un article très développé relatif à des expériences sur des machines employant la vapeur surchauffée. Il s'agit d'abord d'une machine compound demi-fixe, construite par l'établissement bien connu R. Wolf, à Magdebourg.

Cette machine a une chaudière tubulaire à flamme directe, avec foyer ondulé. A la suite des tubes est disposé, dans une boite à fumée de grande longueur relative, un surchauffeur, formé d'un tube en fer enroulé en serpentin; le tube a 90 mm de diamètre extérieur et 70 de diamètre intérieur; sa longueur développée est de 90,50 m.

Le foyer a de 1,05 m a 1,15 m de diamètre, et 1,95 m de longueur. Il y a quatre-vingts tubes de 70 mm de diamètre extérieur et 2,20 m de longueur.

La machine compound à deux cylindres actionnant des manivelles à angle droit est disposée horizontalement sur la chaudière; l'arbre porte, d'un côté, un volant de 2,20 m et, de l'autre, une poulie de 1,50 m de diamètre, pour recevoir la courroie servant à transmettre le travail. Les cylindres sont à enveloppe de vapeur, et le tuyau receiver passe dans la chaudière. Les tiroirs des deux cylindres sont cylindriques. La machine est à condensation.

Nous indiquons ci-dessous les dimensions principales de ce moteur, donné pour une puissance de 200 ch :

| | | |
|---|---|---|
| Surface de grille | 1,18 | m² |
| — de chauffe directe | 9,83 | — |
| — — tubulaire | 38,72 | — |
| — — totale | 48,55 | — |
| Pression effective de la vapeur | 12 | kg |
| — du surchauffeur | 32 | — |
| Diamètre des cylindres | 286-541 | mm |
| Course des pistons | 576 | — |
| Rapport des volumes des cylindres | 1 à 3,65 | |

La machine était installée dans l'atelier d'essais de la fabrique Wolf, où les expériences ont été faites par MM. M. F. Gutermuth et Heilmann. On mesurait au frein la puissance développée sur l'arbre, tandis qu'on relevait simultanément tous les quarts d'heure le travail indiqué sur les deux côtés de chaque cylindre.

Les quantités d'eau et de combustible étaient pesées. On a déterminé, préalablement par analyse, le pouvoir calorifique du charbon employé, qui a été trouvé de 7 590 calories par kilogramme.

Les essais ont été faits d'une manière très complète, et les résultats

TABLEAU A.

| Numéros des essais | | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Durée de l'essai | | 5 h. 50 m. | 6 h. 58 m. | 7 h. 57 m. | 5 h. 55 m. | 6 h. |
| Pression de la vapeur à la chaudière | atm | 11,8 | 11,8 | 11,8 | 11,8 | 11,8 |
| Température de la vapeur surchauffée | degrés | 313 | 268 | 312 | 309 | 332 |
| — des gaz à la cheminée | — | — | 227 | 267 | 276 | 286 |
| Nombre de tours par minute | | 155,6 | 157,1 | 155,6 | 155,5 | 154 |
| Vide au condenseur | atm | 0,88 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,89 |
| Travail indiqué sur les pistons | ch | 195,6 | 152,8 | 195,6 | 224 | 249,3 |
| — mesuré au frein sur l'arbre | — | 177 | 134 | 177 | 203,5 | 226 |
| Rendement organique | | 0,91 | 0,88 | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| Dépense de vapeur par cheval au frein | kg | 5,23 | 5,6 | 5,21 | 5,2 | 5,1 |
| — de combustible par cheval au frein | — | 0,625 | 0,633 | 0,62 | 0,61 | 0,623 |
| Production de vapeur par kilogramme de combustible | | 8,4 | 9,0 | 8,4 | 8.5 | 8,2 |
| Dépense en calories par cheval indiqué | | 3 500 | 3 500 | 3 470 | 3 490 | 3 460 |
| Rendement calorifique de la machine | | — | 0,193 | 0,193 | — | 0,192 |
| — — de l'ensemble | | — | 0,151 | 0,149 | — | 0,147 |

en sont inscrits dans des tableaux très volumineux. Nous nous bornerons à donner les chiffres les plus intéressants dans le tableau A.

On voit qu'on est arrivé à obtenir 1 ch effectif au frein avec une consommation d'eau de très peu supérieure à 5 kg, et une de combustible de bien près de 600 g pour des forces de 150 à 200 ch, qu'on est en droit de considérer aujourd'hui comme assez faibles. Un point sur lequel il est bon d'appeler l'attention est que, si la dépense de vapeur paraît être inversement proportionnelle à la surchauffe, il n'en est pas tout à fait de même de la dépense de combustible. Ainsi, la très forte surchauffe de l'essai V, si elle correspond au minimum de dépense de vapeur, ne correspond pas au minimum de consommation de combustible.

Il semble y avoir là une indication relative à une température maxima de la surchauffe au point de vue économique; il y a une balance à tenir entre la consommation de vapeur du moteur et la production de vapeur de la chaudière.

Les expériences dont nous nous occupons ne se sont pas bornées à celles qui ont été faites sur la machine demi-fixe de 200 ch; il y en a eu d'autres, qui présentent un très grand intérêt, peut-être principalement parce que, concernant des machines de puissance très inférieure, elles montrent que la surchauffe peut s'y appliquer avec avantage.

Ces machines sont : 1° une locomobile à un seul cylindre, fonctionnant sans condensation; 2° une locomobile compound à deux cylindres, actionnant des manivelles à angle droit, et 3° une locomobile compound tandem avec réchauffage de la vapeur entre les deux cylindres, et marchant à condensation. Toutes ces machines étaient munies de surchauffeurs placés dans la boite à fumée, et d'une disposition analogue à celle du surchauffeur qui a été décrit plus haut à propos de la machine de 200 ch.

Voici les dimensions principales de ces trois machines :

TABLEAU B.

| Types des machines | | I | II | III |
|---|---|---|---|---|
| Surface de grille | m² | 0,54 | 0,66 | 0,385 |
| — de chauffe | — | 21 | 25,1 | 14,1 |
| — du surchauffeur | — | 12 | 15 | 11,3 |
| — totale | — | 33 | 40,1 | 25,4 |
| Diamètre des cylindres | mm | 200 | 220-420 | 160-300 |
| Course des pistons | — | 400 | 440 | 320 |
| Pression à la chaudière | kg | 12 | 12 | 12 |
| Nombre de tours | | 180 | 210 | 210 |

Nous donnons, dans le tableau C, les résultats les plus intéressants obtenus dans les essais faits sur ces machines dans les mêmes conditions que pour la machine demi-fixe de 200 ch.

Tableau C :

| Types de machines. | | I | II | III | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Numéros des essais. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Pression à la chaudière | kg | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Température de la vapeur surchauffée | degrés | 307 | 320 | 325 | 330 | 330 |
| Degré de surchauffe | | 116 | 129 | 134 | 139 | 139 |
| Vide au condenseur | atm | — | — | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Nombre de tours par minute | | 181 | 180 | 212 | 212 | 212 |
| Travail indiqué sur les pistons | ch | 49,5 | 84,1 | 44,7 | 57,8 | 65,6 |
| Travail sur l'arbre mesuré au frein | — | 44 | 81,6 | 41 | 52,5 | 61,5 |
| Rendement organique | | 0,89 | 0,96(?) | 0,92 | 0,91 | 0,94 |
| Dépense de vapeur par cheval au frein | kg | 8,60 | 7,17 | 4,83 | 4,78 | 4,70 |
| — de combustible par cheval au frein | — | 0,91 | 0,79 | 0,59 | 0,55 | 0,54 |
| Vaporisation | | 9,45 | 9,08 | 8,2 | 8,7 | 8,7 |
| Dépense de calories par cheval indiqué | | 5 480 | 5 050 | 3 400 | 3 370 | 3 400 |

Il est deux points sur lesquels nous croyons devoir appeler spécialement l'attention. C'est d'abord la très faible consommation d'eau et de combustible de ces machines, consommation qui s'abaisse, pour la machine III, à moins de 5 kg d'eau et moins de 0,60 kg de combustible pour une machine développant 65 ch.

La consommation de calories ressort à 3 370 par cheval indiqué et par heure; ce chiffre est légèrement inférieur à celui de 3 394 que nous indiquions en 1898 comme le chiffre le plus bas alors atteint par de puissantes machines à triple expansion fonctionnant avec de la vapeur saturée.

Un autre fait intéressant est que l'emploi de la double expansion combinée avec la surchauffe produit un résultat avantageux, tout au moins par l'amélioration du rendement mécanique que la première amène par suite de la régularisation des moments de rotation. Ainsi, les dépenses de vapeur par cheval indiqué étant, pour les machines I et II, de 7,6 et 6,96, soit 1 et 0,92, elles sont, par cheval au frein, de 8,60 et 7,17, soit 1 et 0,83.

Alors même qu'on ne compterait le rendement organique pour la machine compound qu'à 0,92, le rapport serait encore de 1 et 0,86.

**Système perfectionné d'écluse.** — On sait que les principales objections au système normal d'écluses de navigation sont : la consommation considérable d'eau et la lenteur de la manœuvre amenée surtout par la nécessité d'opérer la mise en équilibre du bief alternativement avec l'amont et l'aval par des canaux dont la section est limitée.

On a depuis longtemps proposé un perfectionnement consistant à réduire dans une très large proportion la dépense d'eau et même à la supprimer en théorie, par l'emploi de réservoirs latéraux contenant des flotteurs dont le déplacement vertical amènerait la dénivellation dans le sas de l'écluse. L.-D. Girard, l'hydraulicien bien connu, avait proposé des dispositions fort ingénieuses basées sur ce principe.

Un Ingénieur autrichien, M. F. Pokorny, a étudié, dans le même ordre d'idées, un système d'écluses dont il a donné la description dans une brochure intitulée : *Ascenseur pour bateaux et navires système Pokorny*, brochure dont il a envoyé un exemplaire à notre Société.

Ce système repose entièrement dans une disposition originale des flotteurs, disposition que nous allons essayer de décrire sommairement en renvoyant à la brochure de l'inventeur ceux de nos Collègues que la question pourrait intéresser plus particulièrement.

Latéralement au sas est établie une grande capacité en communication avec lui par des ouvertures de grande section. Dans cette capacité, de dimensions appropriées, sont disposés des tambours pouvant tourner autour d'un axe horizontal. Ces tambours sont creux et étanches, mais ils ne forment pas un cylindre continu, le cercle qui en forme la base est échancré par l'enlèvement d'un segment; le volume total de ce segment est précisément égal au volume représenté par la dénivellation dans le sas de l'écluse, soit $L \times l \times H$, si on appelle L la longueur, $l$ la largeur et H la différence de niveau des biefs d'amont et d'aval.

Il est facile de comprendre que si on fait tourner de 180 degrés le

tambour autour de son axe, on aura, dans ce cas, la partie pleine du tambour à la partie inférieure et que le volume d'eau correspondant sera refoulé dans le sas, et, dans l'autre cas, ce sera le segment échancré qui sera à la partie inférieure et la partie manquante sera remplacée par le volume d'eau emprunté au sas. Toute la manœuvre de l'éclusage, en plus, bien entendu, de la manœuvre des portes de l'écluse, consistera à faire tourner de 180 degrés l'ensemble des tambours.

A cet effet, des câbles métalliques s'attachent tangentiellement à la circonférence des tambours et vont s'enrouler sur des treuils mus par une machine à vapeur.

L'auteur a étudié une série d'écluses commençant par une écluse de navigation intérieure de 67 m de longueur, 8,2 m de largeur et 1,8 m de tirant d'eau pour finir par une écluse de canal maritime de 235 m de longueur et 25 m de largeur avec 10 m de tirant d'eau; il en a calculé les dimensions principales avec la durée des opérations et le travail nécessaire pour le fonctionnement. Il trouve ainsi que, dans le dernier cas, pour une hauteur d'élévation de 8 m, la durée de l'ascension du navire ne dépasserait pas 7,3 minutes, on pourrait faire passer 193 navires par jour avec une puissance, il est vrai, de 6500 ch.

Les dispositions dont nous venons de donner une idée paraissent simples en théorie, mais nous craignons que, dans l'exécution, on n'ait à compter avec les dimensions énormes qu'on sera obligé de donner aux flotteurs. Nous avons vu que le volume d'eau déplacé doit être égal à celui du segment détaché du tambour; on peut admettre *grosso modo* que le volume du segment est du quart au cinquième du volume du tambour celui-ci devra donc avoir un volume égal, 4 à 5 ($L \times l \times H$).

Ce tambour ne peut être continu, il est formé de plusieurs tambours à cause de la nécessité de faire reposer les arbres sur lesquels ils tournent sur des supports placés entre les divers tambours; ces divers tambours occupent ainsi notablement plus de longueur que l'écluse L; si on ne veut pas dépasser cette longueur, on devra augmenter le diamètre; c'est ainsi que, pour une écluse de navigation intérieure de 67 m de longueur, il faudrait employer douze tambours de plus de 20 m de diamètre. Tous ces appareils seront très coûteux. Il faut y ajouter la construction des murs de support, l'installation d'une machine de 350 ch, si on veut effectuer 180 passages de bateaux par jour. Nous oublions d'indiquer que les tambours pour la facilité de la manœuvre doivent être équilibrés, ce qui comporte encore l'addition de certains arrangements, entraînant plus ou moins de complications. On ne peut, d'ailleurs, se dissimuler que la nécessité de disposer à côté d'une écluse d'un emplacement ayant la même longueur et une largeur triple est une très grosse objection dans certains cas, objection équivalant à une impossibilité absolue. Il est donc permis de concevoir quelques doutes sur la réalisation dans des conditions économiques d'appareils de dimensions aussi considérables. Nous avons cru toutefois intéressant d'appeler l'attention de nos Collègues sur une tentative ingénieuse de résoudre un problème qui préoccupe depuis longtemps l'attention des Ingénieurs et dont nous avons cité tout récemment des solutions pratiques très remarquables.

**L'enlèvement de la neige dans les villes.** — Le développement des grandes villes dans des régions sujettes, comme beaucoup de parties des États-Unis, à de fortes chutes de neige, a fait de l'enlèvement de cette neige un problème des plus importants. Le vieux système des pelles et des charrettes n'est plus suffisant aujourd'hui. S'il ne s'agissait que de frayer des passages aux piétons, ces moyens primitifs peuvent à la rigueur rendre encore des services, mais, à l'heure qu'il est, les besoins des transports publics exigent des solutions plus radicales, telles que l'enlèvement rapide de toute accumulation de neige pouvant faire obstacle à la circulation générale.

Un grand journal de New-York indiquait dans son numéro du 28 décembre dernier, qu'à cette date l'enlèvement de la neige avait déjà coûté à l'Administration municipale 5 millions de francs. Les fortes chutes de neige survenues entre cette date et le 10 janvier ont dû causer une dépense à peu près égale. On peut donc estimer que la ville de New-York a déjà dépensé 10 millions de francs pour la moitié de la saison d'hiver.

L'attention s'est portée sur les moyens mécaniques de balayer et d'arroser les rues et on a introduit des engins qui donnent des résultats très satisfaisants, mais on n'a rien fait pour l'enlèvement de la neige et les moyens employés sont exactement les mêmes qu'il y a cent ans. La question présente-t-elle de si grandes difficultés? Il n'est pas sans intérêt de s'arrêter un instant sur ce sujet.

La dépense pour l'enlèvement de la neige au moyen de pelles et de charrettes n'est qu'une partie des pertes causées par la neige. L'interruption partielle des communications, l'usure des véhicules et les accidents qui leur arrivent, la gêne des affaires représentent probablement une somme égale à la précédente et, de plus, les conséquences pour la vie humaine et la santé publique résultant de cet état de choses ne peuvent être estimées en argent. On peut dire qu'une somme de 25 millions de francs ne serait pas trop élevée pour payer l'enlèvement rapide et complet de la neige des rues de New-York pendant un hiver comme celui de 1904-1905.

On a à diverses reprises émis l'idée de fondre la neige par l'emploi d'une chaudière à vapeur locomobile qui remplacerait avantageusement les pelles et les charrettes. D'après quelques observations de M. Leicester Allen, auteur de la note que nous reproduisons ici et qui a paru dans l'*Engineering Record*, la plus forte densité de la neige, à la latitude de New-York, représente un poids de 210 kg environ par mètre cube; c'est presque entièrement de la glace en poudre fine, mêlée d'un peu de neige. La neige proprement dite est beaucoup moins dense, ne pesant guère que 76 kg au mètre cube. La moyenne des résultats d'essais faits par l'auteur donnait un poids de 87,5 kg. Trautwine indique pour le poids de la neige fraichement tombée des chiffres allant de 50 à 120 kg par mètre cube.

Plus la neige est dense, plus l'enlèvement d'un poids donné est économique, parce que les hommes en enlèvent plus à la pelle et les charrettes en transportent plus à volume égal que si la neige est peu dense.

Il serait intéressant de trouver une méthode pour remplacer l'emploi de la pelle, car, même si on recourt à la fusion, il faudra toujours un moyen pour apporter la neige aux appareils qui doivent la fondre. On ne saurait songer, en effet, à la mettre en fusion sur place, ce serait généralement impraticable, car d'abord, cela coûterait cher à cause de la perte considérable de calorique amenée par le contact de la vapeur avec l'air ambiant, et l'eau provenant de la fusion de la neige gelant sur le sol transformerait les rues en étangs de patinage.

Prenons comme base du calcul la densité moyenne indiquée plus haut pour la neige, soit 87,5 kg, et pour température moyenne pendant l'opération, 10 degrés centigrades au-dessous de zéro; admettons que l'eau de fusion soit à une température suffisante pour prévenir la congélation avant l'envoi dans les égouts, par exemple 5 degrés centigrades, et prenons la chaleur spécifique de la neige égale à celle de la glace, il faudra 875 calories pour élever 1 $m^3$ de neige au point de fusion, 6 912 calories pour la fondre et 437 calories pour la porter à la température de 5 degrés centigrades, total 8 224 calories.

On prendra la pression à la chaudière égale à 4,5 kg, dans la supposition que la vapeur servira aussi à la propulsion de l'appareil. 1 kg de vapeur à cette pression, se réduisant en eau à 5 degrés centigrades, laissera libres 647 calories, de sorte qu'il faudrait $\frac{8\,224}{647} = 12{,}7$ kg de vapeur par mètre cube. Ce chiffre représente environ 2 kg de combustible, car on ne saurait espérer une vaporisation bien élevée dans un appareil de ce genre.

Il résulte de ces chiffres que 1 kg d'anthracite suffirait pour mettre en fusion un demi-mètre cube de neige et 1 000 pour 500 $m^3$; la tonne d'anthracite valant 25 f, on pourrait fondre 1 000 $m^3$ cubes de neige pour une dépense de 50 f de combustible.

Actuellement une charrette peut porter environ 3,3 $m^3$ de neige; supposons une distance de transport de 800 m, il faudra vingt-cinq minutes, de sorte qu'on devra compter vingt-quatre voyages par jour. Prenons 15 f par journée de la charrette avec son conducteur, les 1 000 $m^3$ qui coûteraient 50 f à fondre coûteront 189 f, soit près de quatre fois autant. Mais cette comparaison ne suffit pas pour rendre compte de l'économie de la méthode par fusion, car il faut dans la méthode par charriage faire entrer en ligne l'enlèvement à la pelle, tandis qu'on peut imaginer un moyen de faire l'enlèvement à la machine, la vapeur d'échappement servant à la mise en fusion de la neige, pour ainsi dire sans frais.

Entre 1868 et 1872, on put voir à New-York, dans une rue entre Broadway et le North River, une étrange machine qui fonctionnait en excitant vivement la curiosité des passants. Cette machine servait à chauffer la pierre employée dans un système breveté de pavage en béton. La pierre, réduite en petits fragments irréguliers, était chauffée et séchée dans l'appareil et, enrobée dans un ciment également chauffé, était amenée par le passage d'un rouleau à l'état de surface lisse.

Le chauffage de la pierre cassée était indispensable pour assurer sa siccité et son adhérence avec le ciment. Ce système de pavage échoua

complètement, mais le chauffage des pierres s'opérait d'une manière très pratique et très économique. L'appareil employé se composait d'un cylindre en tôle monté sur roues et dans lequel la pierre cassée était jetée à la pelle; quand le cylindre avait reçu environ 2 t de pierres, on le fermait par un couvercle étanche et on y introduisait de la vapeur à 4 1/2 kg de pression provenant d'une chaudière faisant partie de l'appareil avec une machine à vapeur servant à déplacer l'ensemble. La température voulue étant atteinte, on renversait le cylindre pour le vider facilement.

On pourrait s'inspirer de cet engin pour faire un appareil à fondre la neige. Il est facile de supposer une sorte de balayeuse rotative rejetant la neige sur un transporteur aboutissant à un ou plusieurs appareils à fondre pouvant contenir chacun 10 ou 12 $m^3$ de neige. On remplirait un des appareils pendant que l'autre opérerait. L'arrivée de vapeur se ferait par un grand nombre de points, de manière à agir sur toute la masse. L'opération serait ainsi continue. L'eau provenant de la fusion serait déchargée directement dans les égouts par les ouvertures situées aux coins des rues et on la laisserait couler dans les ruisseaux, sa température étant encore assez élevée pour l'empêcher de geler.

Prenons, par exemple, un appareil dont la grille puisse brûler 1 000 kg d'anthracite par heure. On a vu que cette quantité permettrait de mettre en fusion 500 $m^3$ de neige de densité moyenne. En vingt-quatre heures, on fondrait 12 000 $m^3$. Or, à New-York, la hauteur moyenne de neige tombée ne dépasse pas 0,15 m. Une chute de 0,30 m est exceptionnelle. Dans une rue de 30 m de largeur, trottoirs compris, la quantité de neige par kilomètre serait, d'après les données ci-dessus, de 4 500 $m^3$ en moyenne et de 9 000 $m^3$ au maximum. Un appareil pourrait donc nettoyer en vingt-quatre heures de 1 330 à 2 660 m de longueur d'une telle rue. On ne l'emploierait que pour la chaussée, les trottoirs étant dégagés avec des pelles et des balais. Ces engins pourraient être mis très rapidement en action. Une centaine suffirait pour nettoyer et maintenir libre une longueur de 133 à 266 km de chaussées. Par les moyens actuels, il faudrait au moins une semaine pour atteindre ce résultat et, pendant ce temps, on éprouverait des obstructions très gênantes de la circulation.

Au coût du combustible estimé plus haut, il faudrait ajouter la main-d'œuvre employée, l'intérêt et la dépréciation des machines et, enfin, le loyer des terrains destinés à les remiser, mais il semble que tout cela serait loin d'atteindre les dépenses de transport de la neige par charrettes. Il parait, en tout cas, y avoir assez de marge pour qu'on puisse désirer voir produire un engin pratique basé sur les principes que nous venons d'indiquer.

**Prévention du verglas sur le troisième rail des chemins de fer électriques.** — Un des inconvénients les plus sérieux avec lesquels ait à compter l'exploitation des chemins de fer électriques est la formation du verglas sur le troisième rail. C'est surtout sur les lignes en rase campagne où la circulation n'est pas assez active pour que la couche de glace n'ait pas le temps de se reformer après avoir été enlevée que cet inconvénient se fait le plus vivement sentir. Dans ces

cas, le seul moyen d'empêcher des arrêts de la circulation des trains paraît être de recourir à l'emploi d'un liquide à point de congélation très bas qui, non seulement fond la glace déjà formée, mais encore l'empêche de se former de nouveau.

Après des essais qui ont donné de bons résultats, l'Aurora Elgin and Chicago Ry a adopté cette méthode. On se sert d'une solution de chlorure de calcium qui a l'avantage de ne pas attaquer le métal des rails comme le fait une dissolution de sel marin. Le liquide est projeté par un petit tuyau relié à la cabine du wattman par un tube en caoutchouc et arrive sur le rail devant la brosse en fils d'acier qui précède le sabot de prise de courant. Cette brosse étend le liquide sur la couche de glace avant qu'il ait eu le temps de couler de chaque côté. Chaque véhicule moteur est muni de quatre de ces tuyaux, un en avant de chaque sabot. Le tube en caoutchouc est relié par le haut à un réservoir placé dans la cabine et contenant 150 l environ de la solution de chlorure de calcium. Il est bon de remarquer que cette solution est conductrice de l'électricité, mais elle ne l'est pas suffisamment pour causer des inconvénients sérieux ; néanmoins il est prudent de mettre le bout du tuyau placé sur le truck en communication avec la terre, pour empêcher la solution dans le réservoir de se charger d'électricié.

Dans la saison d'hiver, les réservoirs tout chargés sont placés sur les quais des stations, prêts à être introduits dans les cabines des wattmans dès qu'une chute de neige menace de se produire ; il suffit alors de les raccorder par le tube de caoutchouc avec les tuyaux portés par les trucks. Pour les remplir sans les sortir lorsqu'ils sont vides, on les met en communication par un tube flexible avec un réservoir surélevé placé à la station; il y a plusieurs de ces réservoirs accolés et disposés sur des tréteaux pour assurer un remplissage rapide.

Pour préparer la solution, on mélange dans un grand réservoir le chlorure de calcium avec de l'eau chaude dans la proportion de 60 kg de sel pour 100 l, ce qui donne une densité de 1,20 à 1,25.

Les tubes d'où le liquide se répand sur le rail ont 6 mm environ de diamètre; l'écoulement serait constant, quelle que soit la vitesse, si le wattman ne disposait pas d'un robinet placé sur la conduite pour modérer l'écoulement aux faibles vitesses et le supprimer aux arrêts; on emploie environ 2,5 l de solution par kilomètre; cette quantité est suffisante pour laver la table de roulement sans déborder des deux côtés du rail sans utilité. Si la couche de verglas est très mince, le liquide la fait disparaître instantanément; si elle est épaisse, le liquide la pénètre, la rend conductrice et la désagrège de telle sorte que le passage de la brosse la détruit complètement.

Tant qu'il reste du liquide sur le rail, la formation d'une nouvelle couche de glace est empêchée; on a constaté, toutefois, qu'au bout d'un certain temps cet effet ne se produit plus et, si on se trouve en présence d'une tempête de neige continue, il faut recourir à d'autres moyens.

Cette méthode a été reconnue pratique et économique, elle a été expérimentée pendant tout un hiver et, pendant plusieurs tempêtes de neige, on n'a pas eu de retards sérieux. La dépense d'installation des appareils est peu élevée; quant à celle du liquide, elle est insignifiante.

Si on compte le chlorure de calcium à 10 f par 100 kg, on trouve que la solution revient à 6 f par 100 l et que, par conséquent, les 2,5 l nécessaires pour le parcours de 1 km coûtent seulement 0,15 f. C'est très peu en comparaison avec les services rendus. Ces renseignements sont extraits du *Street Railway Journal*.

**Production de l'huile de harengs.** — Nous avons dit quelques mots, dans la Chronique d'octobre 1904, page 529, de la production de l'huile de poisson dans l'île de Saghalien; on ignore généralement que la production d'huile au moyen des harengs est une industrie considérable répandue sur divers points du globe; nous croyons donc intéressant de donner à ce sujet quelques renseignements d'après un rapport de la Commission des pêcheries des États-Unis pour l'année 1902.

Le hareng, dans toutes ses variétés : sardines, anchois, sprat, etc., est probablement le plus utile et le plus important des produits de la pêche tant à cause de sa valeur alimentaire que par son abondance extraordinaire. Ce qui n'est pas consommé pour la nourriture de l'homme, y compris les harengs salés, fumés et conservés sous d'autres formes, est employé pour la production de l'huile. Ce mode d'utilisation n'est pas nouveau, car il y a déjà plus d'un siècle qu'en Suède on fabriquait par an de 4,5 à 9 millions de litres de cette huile. Cette production existe, sur une échelle plus ou moins grande, dans presque toutes les contrées maritimes de l'Europe, dans les provinces anglaises de l'Amérique du Nord, sur la côte septentrionale des États-Unis, au Japon et dans certains endroits de la côte d'Afrique.

Comme on n'emploie à l'extraction de l'huile que l'excédent de la consommation pour l'alimentation et que la quantité pêchée chaque année est très variable, il en résulte une variation correspondante dans la production de l'huile, de sorte qu'il est extrêmement difficile de donner des chiffres tant soit peu exacts sur l'importance de cette production. On peut toutefois admettre comme assez vraisemblable un chiffre moyen de 13,5 millions de litres par an, dont une faible proportion provient des États-Unis.

Il y a une cinquantaine d'années, lorsque l'huile de poisson avait une valeur à peu près double de celle qu'elle a aujourd'hui, il y avait sur la côte du Maine de petites installations pour la production de l'huile de harengs. On se servait principalement comme matière première des déchets des fabriques de harengs fumés y compris les poissons trop petits pour être soumis au traitement. Il y avait des moments toutefois où les prix comparatifs du hareng fumé et de l'huile étaient tels qu'on faisait de l'huile avec des harengs ayant jusqu'à 0,15 m de longueur. Cette industrie ne s'exerçait que sur une petite échelle et par des pêcheurs travaillant pour leur propre compte.

Les déchets de poissons étalés sur le sol étaient saupoudrés de sel à raison d'un boisseau pour trois à quatre barils de poissons. Au bout de vingt-quatre heures, on faisait cuire la matière dans des chaudières découvertes et on la pressait sous des presses à vis contenant environ un baril et demi. On obtenait environ 60 l d'huile par tonne de poisson, mais, quand les harengs étaient très gras, cette quantité allait jusqu'à

80 et même 90 l. Le résidu était séché et vendu comme engrais à raison de 60 f la tonne.

Le développement de l'industrie de la sardine a amené des modifications importantes dans cette fabrication et, depuis 1875, on n'emploie plus comme matière première pour l'extraction de l'huile que les déchets des fabriques de sardines conservées. Ces déchets proviennent des poissons en mauvais état et des têtes et entrailles de ceux qu'on emploie. Cette extraction est peu importante. La production totale, en 1889, s'élevait à 130 000 l d'huile, d'une valeur de 72 000 f, plus 1 900 tonnes de résidus valant 75 000 f. Avec l'abaissement du prix de l'huile, cette industrie a subi une dépression considérable, car, en 1898, la production n'a été que de 45000 l valant 10000 f, et plus 785 t de résidus d'une valeur de 30 000 f.

Mais on prépare de très grandes quantités d'huile de harengs sur la côte du Pacifique aux États-Unis. Cette industrie date de 1867 ; la production a d'abord été très irrégulière pendant quelques années. En 1885, elle s'élevait déjà à 700 000 l dont une grande partie, dit-on. se vendait comme huile de baleine; en 1892, le chiffre montait à près de 2 millions de litres, dont 60 0/0 étaient extraits à Killisnoo, dans l'Alaska.

Le rendement varie de 1 à 4 gallons d'huile par baril de poisson. L'huile vaut sur la côte du Pacifique environ 20 cents par gallon, soit un peu plus de 0,50 f par litre et le résidu sec 125 f la tonne. Cette huile est très claire et le fond qu'on obtient en la raffinant est aussi blanc que du spermaceti; il se vend presque au même prix que le suif de bœuf ou de mouton et trouve un large débouché dans la région pour la fabrication du savon.

Lorsqu'en Europe on prend des quantités de harengs si considérables qu'on ne peut les écouler pour la consommation. on les convertit d'une manière courante en huile et engrais. On produit de grandes quantités de cette huile en Suède et en Norvège, et c'est, avec l'huile de foie de morue, la plus importante des huiles de poisson dans ces contrées. Sa production en Suède s'était considérablement développée il y a une dizaine d'années, à cause de l'abondance et du bon marché du hareng. D'après des renseignements officiels, le nombre des fabriques a passé de 3 en 1891 à 22 en 1895. La production dans la saison de 1895-96 s'est élevée à environ 2 millions de litres et 16 000 t d'engrais. Mais, depuis 1896, le hareng est devenu plus rare et son prix élevé a considérablement réduit les produits de cette industrie.

Dans la préparation des sardines, en Europe, on utilise généralement à faire de l'huile les têtes, entrailles et poissons de rebut. On cuit ces parties et on les presse; l'huile obtenue est employée à la préparation des cuirs, à la fabrication des cordages, pour certaines peintures à l'extérieur et, dans quelques régions, à l'éclairage. On ne possède aucune donnée sur l'importance de cette production.

C'est peut être au Japon que cette industrie est la plus ancienne, mais elle était restée jusqu'à il y a une vingtaine d'années dans l'état le plus primitif; on y emploie une espèce de poisson appelé « iwashi » qu'on trouve en quantités le long des côtes, surtout du côté nord de la grande ile; on le pêche généralement en hiver lorsqu'il est gras.

D'après un rapport du Consul des Etats-Unis à Kanawaga, les pêcheries les plus importantes sont situées sur l'île de Yézo et sur la péninsule d'Ava près de Yokohama. Les méthodes d'extraction sont semblables à celles qu'on emploie aux États-Unis. Le poisson est cuit et pressé et les résidus servent d'engrais. Les procédés de raffinage de l'huile ressemblent également à ceux qui sont en usage en Amérique; on filtre l'huile dans des sacs en papier placés dans des sacs en forte toile. On empile une série de ces sacs sous une presse qui refoule l'huile à travers cette double enveloppe.

L'huile de harengs japonaise contient une forte proportion de dépôt, environ 25 0/0. On s'en servait pour l'éclairage avant l'introduction au Japon de la kérosène, mais cette application a beaucoup diminué. On utilise maintenant cette huile pour la fabrication du savon, la préparation des cuirs et un certain nombre d'autres emplois.

Depuis 1881, le Japon envoie une assez grande quantité de cette huile de poisson en Europe et aussi par intervalles aux États-Unis. Elle a d'abord été difficilement acceptée à cause de son odeur désagréable due à la grossièreté des méthodes d'extraction et aussi à cause du mode d'emballage fait dans de vieux bidons de kérosène de 20 l environ de capacité, ce qui est peu commode pour les consommateurs de quantités un peu importantes. Sur le marché de Hambourg, l'huile claire de cette provenance vaut environ 50 f les 100 kg et l'huile brune 45 f. Les résidus de raffinage se vendent 45 f les 100 kg.

L'huile japonaise ne peut se vendre avec profit aux États-Unis que lorsque les huiles indigènes analogues sont à des prix élevés, ce qui explique l'intermittence de l'importation. En 1885, on a importé environ 400 000 l d'une valeur de 120 000 f et, en 1886, seulement 20 000; le chiffre resta insignifiant jusqu'en 1893, où il se releva à 730 000 l valant 150 000 f; en 1894, le chiffre fut de 600 000 l d'une valeur de 120 000 f. Le Japon a envoyé pour des expositions de beaux échantillons d'huile raffinée, ce qui indique que les fabricants de ce pays pourraient envoyer des produits très supérieurs à ceux qu'ils envoient d'une manière courante.

# COMPTES RENDUS

## SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JANVIER 1905.

**Séance générale des prix du 23 décembre 1904.** — Discours et rapports.

**Notice nécrologique sur M. O. de Luynes,** par M. Léon APPERT.

Rapport sur une communication de M. GUILLERY relative à **une nouvelle méthode d'essais mécaniques des métaux,** par M. Ed. SAUVAGE.

M. Guillery, directeur des ateliers de la Société française de construction mécanique, à Denain, y a introduit divers appareils, l'un pour l'essai par empreinte de billes, d'après le procédé Brinell; c'est une sorte de bouterolle portant, à sa partie inférieure, une bille de 5 mm de diamètre et, à la partie supérieure, une tête sur laquelle on peut frapper. L'effort se transmet à la bille par l'intermédiaire d'une pile de rondelles Belleville enfermées dans une douille dont le bord inférieur porte sur la tôle à essayer dès que la flexion des rondelles a donné à la bille la charge voulue, qui est de 750 kg environ.

Pour les essais au choc, M. Guillery emploie un mouton rotatif dont nous avons indiqué le principe dans une note sur une visite aux ateliers de Denain insérée dans le Bulletin de juin 1903, page 892, de la Société des Ingénieurs Civils de France. L'auteur estime que, pour les constructions courantes de l'industrie, ces essais peuvent être avantageusement substitués à l'ancien essai de traction, coûteux et souvent insuffisant.

**La purification des eaux potables** et l'épuration des eaux d'égout, en Angleterre, par M. L. GRANDEAU.

L'auteur débute par un coup d'œil sur la législation sanitaire de l'Angleterre qui doit être regardée, avec les améliorations qui y ont été apportées depuis plus d'un demi-siècle, comme l'une des plus efficaces pour la protection de la santé publique.

Il étudie ensuite la question de l'épuration des eaux d'égout en indiquant les divers procédés divisés en deux grandes classes : les procédés naturels (épuration par le sol) et les procédés artificiels, lesquels comportent deux subdivisions : épuration par précipitation et épuration bactériologique. Il donne des exemples de l'application de ces diverses méthodes.

La seconde partie traite de la purification des eaux potables pour laquelle on a le plus souvent recours à la filtration, procédé qui semble

être d'origine toute moderne, ne remontant guère qu'au commencement du XIX[e] siècle. La note donne des exemples de l'application des divers systèmes de filtration et notamment de l'emploi du carboferrite qui a donné des résultats très remarquables.

**Unification des petits filetages.** — Il s'agit ici de documents complétant ceux qui ont déjà été publiés sur la question; ce sont : une note de M. le général Sebert au sujet du premier rapport présenté au Syndicat professionnel des industries électriques et la traduction du rapport présenté, en 1884, à l'Association Britannique concluant à l'adoption de la série Thury.

**Notes de chimie**, par M. J. Garçon. — Nous signalerons parmi ces notes : une sur la préparation du coton hydrophile, une autre sur l'altération des tissus désinfectés, sur l'or cassant, la fixation de l'azote atmosphérique, la préparation électrolytique de la pâte d'étain, la shérardisation (méthode de Shérard pour la galvanisation), l'intoxication par l'arsenic, une note sur la Société de chimie industrielle de Londres, sur l'emploi du nitrate de soude et sur une cartouche au carbure de calcium.

**Notes de mécanique.** — Nous trouvons sous cette rubrique : la description de la grille mécanique Jones, celle de la poulie extensible Delaquenne, une note sur les nouveaux diagrammes appliqués à la thermodynamique industrielle, la description de l'installation d'essais de locomotives à l'Exposition de Saint-Louis et celle de la chaudière du colonel Renard.

---

## ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

*4e trimestre de 1904.*

Note sur le **dérasement de l'épave du vapeur « Vindomora »**, coulé en Basse-Seine, par M. H. Godron, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le vapeur charbonnier anglais *Vindomora* fut coulé par collision, le 27 novembre 1899, près de Rouen à la hauteur du Val-de-la-Haye. Il obstruait la moitié de la passe et constituait ainsi un obstacle sérieux pour la navigation. Au bout d'un mois, il était rompu en deux; on déchargea et on songea ensuite à se débarrasser de l'épave. La rupture de la coque et les conditions locales ne permettaient pas d'autre solution que la démolition par explosifs. On procéda par découpage des tôles par des boudins de dynamite; la chaudière et la machine furent démolies de la même manière. Le travail commencé le 26 avril 1900 fut achevé à la fin d'octobre de la même année. Les dépenses se sont élevées à 39 000 f dont la vente du charbon et des débris a couvert environ 6 000 f.

Notice sur **le pont suspendu de Bonny-Beaulieu**, sur la Loire, par M. Benardier, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

La construction d'un pont reliant les routes nationales n° 7 et n° 65, de Bonny à Beaulieu, à la place du bac existant s'imposait et les ressources limitées obligeaient de revenir à la solution d'un pont suspendu. Le pont comporte trois travées de 120 m d'axe en axe ; le tablier a 5,20 m de largeur, dont 4,40 m de chaussée et deux trottoirs de 0,40 m chacun.

Les piles et culées ont été fondées à l'air comprimé à une profondeur d'environ 8 m au-dessous de l'étiage. La suspension est faite par 12 câbles, 6 de chaque côté; chacun de ces câbles se compose de 91 fils d'acier doux, d'une section totale de 1 652 mm² ; les extrémités de ces câbles traversent un trou conique pratiqué dans un culot en fonte où les fils sont épanouis et noyés dans un alliage fusible à température peu élevée.

Le tablier, raidi par deux poutres latérales de 1,50 m de hauteur environ, est soutenu, près des piles et culées, par des câbles obliques au nombre de 3 de chaque côté et, sur le reste de la longueur, par des tiges de suspension descendant des câbles paraboliques. Les dépenses de construction se sont élevées à 723 000 f, dont 350 000 pour les maçonneries et terrassements.

Ce que le pont dont nous nous occupons a de particulier, c'est qu'il a été établi dans les mêmes conditions qu'un pont métallique pour voie de terre, c'est-à-dire pour des surcharges de 400 kg par mètre carré, soit 2 032 kg par mètre courant. Il peut donc donner passage à des rouleaux à vapeur et à des tramways à vapeur, ces derniers ne donnant qu'une surcharge par mètre courant de 1 279 kg, soit un peu plus de la moitié de la charge imposée. La suspension a été établie par notre collègue M. Arnodin.

**Concours financier donné par l'État et les localités intéressées pour développer les chemins de fer économiques**, en France, Belgique, Allemagne et Royaume-Uni, par M. Colson, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Conseiller d'État.

Les lignes dites économiques ne présentent que rarement des éléments de trafic suffisants pour rémunérer les capitaux engagés; il est nécessaire de recourir, pour leur établissement, à des allocations des autorités publiques. L'auteur s'est proposé de rechercher les conditions dans lesquelles ce concours financier est donné dans les différents pays indiqués plus haut et les résultats qu'a donnés cette organisation.

Note sur **les dragages effectués au port de Calais** de 1896 à 1903, par M. Bodin, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ces dragages se sont opérés sur la rade, dans le chenal, dans l'avant port, et enfin dans le port d'échouage et dans les bassins, au moyen d'un matériel comprenant deux dragues aspiratrices porteuses, une drague à godets et un porteur à vapeur. La note donne une description sommaire de ce matériel et indique les prix élémentaires obtenus des divers engins pendant la période indiquée plus haut; il ressort de ces chiffres une économie importante en faveur des dragues aspiratrices.

Note sur **les immeubles qui, bien qu'atteints par un plan d'alignement, ne doivent pas être assujettis à la servitude de reculement,** par M. Ernest Henry, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Par suite d'une jurisprudence bien établie du Conseil d'État, certains immeubles doivent être affranchis de la servitude du reculement, quoiqu'ils soient atteints par un plan d'alignement régulièrement approuvé. L'objet de la présente note est d'exposer, d'après les arrêtés du Conseil d'État, les règles à suivre pour apprécier quels sont ces immeubles.

Note sur la **comparaison de plusieurs lignes de chemins de fer au moyen des longueurs virtuelles.**

On sait qu'on appelle longueur virtuelle une longueur fictive supposée de niveau et en alignement droit et telle qu'elle puisse être considérée comme équivalente à la ligne réelle. On a proposé une quantité de méthodes pour déterminer les longueurs virtuelles qui peuvent être établies à divers points de vue, par exemple ceux : des dépenses totales d'exploitation, des dépenses du transport proprement dit, du travail mécanique, des frais de traction, des tarifs, des vitesses, etc. De ces méthodes, le mémoire retient celle de M. Amiot et celle de M. Menche de Loisne qui sont les plus connues en France et en fait la comparaison; il conclut en établissant un nouveau barème qui parait plus rationnel à l'auteur. Cette étude est motivée par celle des lignes de chemins de fer qu'il pourrait être utile d'établir sur le territoire français en vue de l'ouverture du tunnel du Simplon.

Note sur les **conventions relatives aux concessions de chemins de fer d'intérêt local et de tramways**, par M. Denizet, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

L'objet de cette note est de passer en revue dans leurs grandes lignes les différents types de conventions passées jusqu'à ce jour par les départements avec les Compagnies concessionnaires, d'en examiner les résultats et de voir quel est celui qui parait devoir être recommandé, sauf à y apporter les modifications utiles.

L'auteur étudie, avec quelques détails, la formule à laquelle on arrive généralement aujourd'hui : construction par le concédant, exploitation par un concessionnaire. Il en signale les inconvénients, notamment pour l'exploitation, et propose un moyen qui lui parait de nature à les faire disparaître, moyen dont le point de départ serait l'attribution au concessionnaire d'une fraction déterminée du bénéfice réel (différence entre la recette et les dépenses réelles), cette fraction diminuant par étage au fur et à mesure que le bénéfice augmenterait.

Note sur **la comparaison des calculs théoriques aux résultats d'expérience relatifs à la flexion des anneaux circulaires.**

Les *Annales des Ponts et Chaussées* ont publié récemment (voir Comptes rendus de Mai 1904) une note de M. Mesnager sur des expériences faites par lui sur la flexion des anneaux circulaires; dans cette note

l'auteur attaquait la valeur, pour ce cas, des formules de résistance. M. Resal, dans la présente note, entreprend la réhabilitation de ces formules et M. Mesnager la combat.

Note sur **les accidents causés par la rupture des tubes indicateurs de niveau** sur les chaudières à vapeur, par M. Bochet, Ingénieur en chef des Mines.

Cette note a déjà paru dans les *Annales des Mines* et nous en avons parlé dans les Comptes rendus du Bulletin d'octobre 1904, page 534.

---

## SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

---

### Janvier 1905.

### District du Nord.

*Réunion du 2 Octobre 1904 à Arras.*

**Notice sur les objets exposés à Arras** par les Administrations des Ponts et Chaussées et des Mines et par les Compagnies minières.

Note sur les **wagons à houille à trémies de 20 à 25 t** à déchargement automatique avec portes oscillantes.

Ces wagons, exposés à Arras par notre collègue M. P. Malissard-Taza, constructeur à Anzin, pèsent 8 500 kg avec 2 freins à main, pour la capacité de 20 t; ils constituent la solution si longtemps cherchée du déchargement automatique de wagons à houille; les dimensions extérieures sont les mêmes que celles des tombereaux à houille de 20 t de la Compagnie du Nord; la tare est la même que celle de ces wagons qui sont en bois, de sorte qu'on obtient le déchargement automatique sans augmentation de poids.

Ce modèle est adopté par plusieurs Compagnies houillères pour le service de leurs usines à briquettes et pour leurs quais d'embarquement.

Note sur **les treuils en tôle Galland**, par M. Galland.

On a remplacé, dans ces treuils, la fonte par la tôle dans la mesure du possible; il en résulte un allégement sensible et une certaine économie; de plus, le treuil est facilement démontable.

**La convention du 15 avril 1904.** Symptômes nouveaux dans la réglementation du travail, par M. Masson.

On a, depuis longtemps, cherché sans succès à établir une réglementation internationale du travail. L'auteur signale, comme fait nouveau dans cet ordre d'idées, que, à la date du 15 août 1904, le Gouvernement français a conclu avec le Gouvernement italien une convention portant le titre de convention du travail, et contenant des articles dont les uns

se rapportent aux institutions de prévoyance, et les autres à la réglementation du travail. Bien que cette convention ne lie que deux nations et ne les lie que sur un nombre de points assez restreint, elle constitue cependant un pas en avant qu'il était bon de signaler.

### District de Paris

*Réunion du 23 novembre 1904.*

Note de M. Villain sur **l'état d'avancement des sondages de recherches de houille,** dans Meurthe-et-Moselle.

L'auteur estime que le problème scientifique de la découverte de la houille en Meurthe-et-Moselle peut être considéré aujourd'hui comme résolu; il s'agit maintenant d'étudier le gisement par d'autres explorations disposées méthodiquement. C'est ce qu'on commence déjà à faire actuellement.

Communication de M. E. Gruner sur **son voyage à l'Exposition de Saint-Louis et en Pensylvanie.**

Cette communication, dont le résumé est donné en une dizaine de lignes, a été suivie de quelques observations présentées par M. Lodin sur la question si controversée de l'air destiné à alimenter les hauts fourneaux.

Communication de M. Bourdil sur **l'Acétylène dissous** comme source de lumière et de chaleur intenses.

L'auteur signale les applications les plus récentes de l'acétylène dissous, telles que soudure du fer et de l'acier, lumière à incandescence intensive pour projecteurs et cinématographes. Il fait voir comment le chalumeau oxyacétylénique, dont la flamme donne des températures allant jusqu'à 3 000 degrés, permet la soudure de pièces aussi importantes que des cadres de foyer et des longerons de locomotives.

Le dard de ce chalumeau, projeté sur une pastille de terre rare, donne, avec 50 l d'acétylène et 100 l d'oxygène par heure, une intensité lumineuse équivalente à celle d'un arc électrique de 10 ampères.

---

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 5. — *4 février 1905.*

Expériences sur des compresseurs à grande vitesse, par Lebrecht.

Les installations électriques de la ville de Munich, par K. Meyer *(suite)*.

Rapports des vitesses dans les transmissions par engrenages, par W. Hartmann.

La question de la fumée, les rapports entre la production de la fumée, l'utilisation du combustible et les moyens d'atténuer cette production. par F. Haler *(fin)*.

*Groupe de Dresde.* — Dispositifs de sûreté contre les conséquences des ruptures de tuyauterie.

*Groupe de Cologne.* — Procédé Schmitz pour la fabrication de la bière.

*Bibliographie.* — Manuel pour l'installation des distributions d'électricité à haute tension, par G. Hirschfeld.

*Revue.* — La nouvelle législation anglaise sur les patentes d'invention, par M. Heller. — Emploi des courants électriques pour l'extraction directe du fer et de l'acier des minerais. — Les écoles techniques supérieures de l'empire allemand dans le semestre d'hiver 1904-1905.

N° 6. — *11 février 1905.*

Expériences de consommation sur une machine demi-fixe à vapeur surchauffée, construite par R. Wolf, par M. F. Gutermuth.

Nouvelle grue construite par la maison Ludwig Stuckenholz, à Wetter sur la Ruhr, par A. Muller.

Les installations électriques de la ville de Munich, par K. Meyer *(fin).*

*Groupe de Carlsruhe.* — Locomotives et wagons des chemins de fer de l'État de Bade, de 1840 à 1860.

*Groupe de Mannheim.* — Les cartels.

*Bibliographie.* — Régularisation de la marche des machines motrices, par M. Tolle.

*Revue.* — La lampe Tantal, par K. Meyer. — Nouveau vapeur à turbines. — Travaux préparatoires pour le canal de Panama.

N° 7. — *18 février 1905.*

Production du gaz dans les gazogènes, principalement pour la force motrice, par K. Kutzbach.

Concours pour le projet d'un pont-route fixe sur le Rhin, entre Ruhrort et Homberg, par K. Bernhard *(suite).*

Condensation centrale par surface aux usines de Neuves-Maisons, installée par la maison Louis Schwarz et Cie, à Dortmund, par Fr. Frolich.

Expériences sur des compresseurs à grande vitesse, par Lebrecht.

Aperçu sur l'estimation des efforts de flexion dans les pièces droites, par E. Werner.

*Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat.* — Installations électriques.

*Groupe de la Lenne.* — La géologie des environs de Hagen et son intérêt pour l'industrie.

*Bibliographie.* — Recherches physiques et physico-chimiques sur l'acier au carbone, par K. Benedicks.

*Revue.* — Améliorations relatives au bien-être de la classe ouvrière, par Möller. — Exposition internationale de l'automobilisme à Berlin, en 1905.

N° 8. — *25 février 1905*.

Grands moteurs à gaz, par A. Riedler.

Discussion sur la question des grands moteurs à gaz.

Expériences sur un moteur à gaz de fours à coke de 500 ch, par E. Meyer.

Calcul de l'effet utile des moteurs à gaz, par A. Riedler.

*Groupe de Hambourg*. — Expériences sur l'essai à la presse hydraulique jusqu'à rupture d'une chaudière à vapeur.

*Groupe de la Thuringe moyenne*. — Deux explosions remarquables de chaudières.

*Revue*. — Acier pour outils à travail rapide, par Möller. — Wagons américains de 45 t de port.

*Pour la Chronique et les Comptes rendus :*
A. MALLET.

# BIBLIOGRAPHIE

## I<sup>re</sup> SECTION

**L'irrigation aux Indes Orientales Néerlandaises,**
par J. W. PORT (1).

La brochure publiée sous ce titre par notre ancien Collègue J. W. Port, décédé si prématurément l'année dernière, est le rapport lu par un Ingénieur distingué au Congrès colonial international de Wiesbaden, sur les travaux d'irrigation entrepris par le Gouvernement aux Indes Néerlandaises.

Le sujet y est traité d'une manière fort intéressante et suffisamment approfondie; il sera certainement utile, pour nos Collègues, d'en avoir une courte analyse.

L'irrigation n'est pratiquée sur une grande échelle aux Indes Néerlandaises que dans l'ile de Java ou dans celle de Bali. On en trouve quelques applications à Sumatra et dans le nord des Célèbes, à Minahassu.

C'est surtout dans la petite ile de Bali que la question a été résolue de la façon la plus intéressante et uniquement par les indigènes; les agriculteurs se sont pour cela groupés en associations ou *sonbak* analogues à celles qui ont produit les *polders* en Hollande et en Vendée.

La grande ile de Java, au contraire, est restée plutôt en retard sous ce rapport, et c'est là que se sont concentrés les efforts de l'Etat hollandais, à cause de la production très importante du riz qui constitue la principale nourriture des indigènes. Le riz, pour bien se développer, exige de l'eau, et de l'eau en quantités variables suivant les différentes époques de la croissance. L'irrigation s'imposait donc ici d'une manière absolue, les pluies trop irrégulières et trop aléatoires exposant fréquemment à de mauvaises récoltes. L'irrigation, en général, consiste à capter et amener l'eau en quantités suffisantes aux époques voulues, à la répartir d'une manière rationnelle et à en évacuer le superflu, après emploi, par un drainage. On augmente ainsi la qualité et la production des produits agricoles, en même temps qu'on est garanti contre l'incertitude des pluies. Quelques précautions restent à prendre pour défendre ces terrains contre les inondations.

Le problème étant ainsi bien posé, M. Port examine ce qui avait déjà été fait d'une façon primitive par les indigènes, les études et projets établis de 1873 à 1885 pour résoudre scientifiquement la question, les travaux exécutés, le côté si délicat de l'entretien, et s'arrête longuement sur l'organisation moderne et rationnelle de la distribution de l'eau. Cet ensemble se termine par les prix de revient et une situation des recettes. Il est à remarquer que les indigènes n'ont pas de taxes spéciales à payer pour l'eau d'irrigation, mais l'Etat rentre plus ou moins dans ses dépenses par l'accroissement de divers impôts résultant de la valeur des récoltes;

(1) In-8°, 220 × 145, de 68 p. Bruxelles, V<sup>ve</sup> Ad. Mertens et fils, 1904.

l'impôt foncier est, en effet, de beaucoup le plus important dans les colonies hollandaises.

Un certain nombre d'annexes et de tableaux statistiques complètent cet intéressant travail. Nous citerons, en particulier, l'annexe C : instructions pour l'Ingénieur, chef des travaux d'irrigations pour la circonscription de Brantasse; l'annexe D : règlement sur la direction et la surveillance des travaux de Pekalen, dans la résidence de Pasourouan; l'annexe E : instructions pour le conducteur attaché à la direction des travaux de Pekalen et son personnel.

Il y a là des matériaux tout prêts, sanctionnés par la pratique, et qui constituent un bagage précieux pour tous ceux qui auront un problème analogue à résoudre dans une colonie ou un pays neuf.

Tout cela présenté avec la clarté, l'esprit scientifique et l'expérience que savait montrer notre regretté Collègue, dont ce sera hélas! la dernière production.

Auguste Moreau.

---

## IIe SECTION

### Manuel de l'ouvrier tourneur et fileteur, par Joanny Lombard (1).

Ce manuel est un intéressant ouvrage de vulgarisation et s'adresse surtout aux ouvriers et contremaîtres tourneurs. Il est rédigé de façon à compléter les connaissances pratiques acquises par l'apprentissage, par les quelques notions théoriques indispensables pour l'intelligence des travaux de tournage.

L'ouvrage comporte trois parties. La première renfermant les notions élémentaires d'arithmétique, de géométrie et de mécanique indispensables pour le tournage. La deuxième partie s'occupe des outils de tours, des différents types de tours, de leur installation et de leur emploi. Enfin la troisième partie, la plus détaillée et la plus intéressante, s'occupe du calcul des roues d'engrenages pour les travaux de filetage, permettant ainsi à l'ouvrier tourneur de pouvoir se rendre compte, par lui-même, du calcul des séries d'engrenages habituellement données dans un tableau fourni par chaque constructeur avec son tour.

H. B.

(1) In-8°, 215 × 140 de 219 pages avec 175 figures. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix, broché : 4,50 f.

---

*Le Secrétaire Administratif, Gérant,*

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 4966-3-05. — (Encre Lorilleux).

# MÉMOIRES

ET

# COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

---

# BULLETIN

DE

MARS 1905

---

N° 3.

---

## OUVRAGES REÇUS

---

Pendant le mois de mars 1905, la Société a reçu les ouvrages suivants :

### Chemins de fer et Tramways.

DRINKER (H.-S.). — *Tunneling, Explosive Compound and Rock Drills. With a History of Tunneling from the reign of Rameses II, to the present time*, by Henry S. Drinker (in-4°, 310 × 235 de 1 031-XLIV p. avec 1 086 fig. et XIX pl.). New-York, John Wiley and Sons, 1878 (Don de M. E. Pontzen, M. de la S.). 43725

*Il problema ferroviario del Porto di Genova. Relazione della Commissione nominata con decreto ministeriale 18 marzo 1903. Parte prima* (in-4°, 320 × 230 de 263 p. avec 16 pl. et 25 fig.). Genova, Pagano, 1904. 43726

### Chimie.

FORCRAND (R. DE). — *Cours de chimie* à l'usage des Étudiants du P. C. N., par R. de Forcrand. *Tome I. Généralités. Chimie minérale. — Tome II. Chimie organique. Chimie analytique* (2 vol. in-8°, 225 × 140 de VI-325 p. avec 16 fig. et de 317 p. avec 19 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1905 (Don de l'éditeur). 43728 et 43729

## Économie politique et sociale.

CACHEUX (E.). — *Les habitations ouvrières à bon marché*, par Emile Cacheux. *I. Hygiène. Conseils techniques. II. Construction. Coopératives d'habitations* (L'Action populaire. Publication trimensuelle. 4e série. N° 54. 3e série. N° 58) (2 brochures in-8°, 190 × 125 de 34 p. et de 32 p. avec 2 pl.). Lille, Imprimerie de l'Action populaire. Paris, Victor Lecoffre (Don de l'auteur, M. de la S.). 43734 et 43735

*Les Associations professionnelles ouvrières. Tome IV. Industries du bâtiment. Transports. Industries diverses.* (République française. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Office du Travail) (in-8°, 235 × 155 de 821 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1904 (Don du Ministère du Commerce). 43719

*Office national du commerce extérieur. Exercice 1904. Extrait des Rapports présentés au Conseil d'Administration par le Comité de Direction. Pièces annexes, etc.* (République française. Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes) (in-8°, 240 × 160 de 160 p.). Paris, Paul Dupont, 1905 (Don du Ministère du Commerce). 43727

## Électricité.

GÉRARD (E.). — *Leçons sur l'Électricité* professées à l'Institut électrotechnique Montefiore annexé à l'Université de Liège, par Éric Gerard. *Tome second. Transformateurs. Canalisation et Distribution de l'énergie électrique. Applications de l'électricité à la télégraphie, à la téléphonie, à l'éclairage, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à la métallurgie et à la chimie industrielle.* Septième édition (in-8°, 255 × 165 de VIII-888 p. avec 432 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1905 (Don de l'éditeur). 43723

## Enseignement.

*Athénée des Métiers. Projet de M. A. B... Considérations générales. Forme d'enseignement de l'Athénée. Personnel. Organisation matérielle* (in-4°, 265 × 220 de 13 p.). Troyes, Paul Nouel, 1903 (Don de M. A. Bonnet, M. de la S.). 43741

*Université de Liège. Association des Élèves des Écoles spéciales. Rapport annuel, présenté à l'assemblée générale du 9 novembre 1904, en conformité de l'art. 50 du règlement, par M. Luc Sturbelle. Rapport du Bibliothécaire. Rapport du Directeur du Bulletin. Liste des Membres pour 1904-1905* (in-8°, 230 × 150 de 28 p.). Liège, Imprimerie moderne. 43712

## Géologie et Sciences naturelles diverses.

HEIM (A.). — *Geologische Nachlese. Nr. 14. Tunnelbau una Gebirgsdruck*, von Albert Heim (Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Sonderabdruck aus Jahrgang L, 1905) (in-8°, 230 × 155 de 22 p.). Zürich, Zürcher und Furrer (Don de l'auteur). 43748

## Législation.

*American Society of Civil Engineers. Constitution and List of Members. February 1905* (in-8°, 230 × 150 de 248 p.). New-York, House of the Society. 43742

*Annuaire du Groupe de Paris (Seine, Seine-et-Oise et Seine-et-Marne) de l'Association amicale des anciens Élèves de l'École Centrale des Arts et Manufactures 1904-1905* (in-8°, 215 × 135 de 40 p.). Paris, 44, rue d'Amsterdam. 43714

*Liste générale des Membres de la Société des Agriculteurs de France et des Associations affiliées à la Société, par ordre alphabétique et par département, arrêtée au 25 janvier 1905* (Bulletin de la Société des Agriculteurs de France, 37e année. Nouvelle série, 5 mars 1905) (in-8°, 250 × 160 de 325 p.). Paris, Hôtel de la Société. 43733

## Métallurgie et Mines.

*Annaes da Escola de Minas N. 5; N. 6* (2 vol. in-8°, 240 × 160 de 208-III p. et de 286 p.). Ouro-Preto, Lima et Comp., 1902, 1903. 43737 et 43738

LODIN (A.). — *Métallurgie du zinc*, par A. Lodin (in-8°, 250 × 160 de 811 p. avec 275 fig. et 25 pl.) (Encyclopédie chimique publiée sous la direction de M. E. Fremy). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43743

*Wagons à houille à trémie de 20 à 25 tonnes à déchargement automatique avec portes oscillantes conjuguées ou non et Wagons à minerai de 30 tonnes à dos d'âne pour mines, usines métallurgiques et embarquement* (Forges et Ateliers de construction de P. Malissard-Taza, à Anzin (Nord) (Exposition d'Arras de 1904) (Album, 265 × 360 de 5 pl. autog.). Paris, L. Courtier, 1904 (Don de M. P. Malissard-Taza, M. de la S.). 43749

## Navigation aérienne, intérieure et maritime.

*Annuaire de l'Association technique maritime, 1905. Statuts. Conseil. Liste des Membres. Mémoires publiés* (in-16, 180 × 115 de 71 p.). Paris, 16, rue de l'Arcade. 43722

*État de l'éclairage des côtes de France au 1er janvier 1905* (Ministère des Travaux publics. Ponts et Chaussées. Phares et balises) (in-8°, 260 × 170 de 267 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1905 (Don du Dépôt des Phares). 43716

*État du balisage des côtes de France et des amers classés au 1er janvier 1905* (Ministère des Travaux publics. Ponts et Chaussées) (in-8°, 260 × 170 de 193 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1905 (Don du Dépôt des Phares). 43717

*Statistique de la navigation intérieure. Relevé général du tonnage des marchandises. Année 1903* (Ministère des Travaux publics. Direction des Routes, de la Navigation et des Mines. Direction de la Navigation) (in-4°, 310 × 230 de 409 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1904 (Don du Ministère des Travaux publics). 43721

**Périodiques divers.**

*Journal officiel de la République française. Tables alphabétiques et analytiques de 1904* (in-4°, 330 × 240 de 126, 16, 6, 8, 3, 7, 15 p.). Paris, Imprimerie des Journaux officiels, 1905. 43731

*Paris-Hachette. Annuaire complet, commercial, administratif et mondain. 9e année 1905* (in-16, 200 × 145 de 132, 984, 644, 632, 316, xx p. avec 1 plan de Paris). Paris, Hachette et Cie. 43739

**Physique.**

DANIEL (Dr J.). — *Radioactivité*, par le Dr J. Daniel (in-8°, 240 × 160 de .19 p. avec 40 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43732

**Routes.**

*Annuaire des Agents-Voyers. 60e édition. Personnel* (Annales des chemins vicinaux.. 60e année N° 1. Janvier 1905) (in-8°, 215 × 140 de 144 p.). Paris, Paul Dupont. 43740

**Sciences mathématiques.**

AUERBACH (Dr F.), ROBERT-TISSOT (Dr E.), GUILLAUME (Ch.-Ed.). — *La dominatrice du monde et son ombre. Conférence sur l'énergie et l'entropie*, par le Dr Félix Auerbach. Édition française publiée avec l'assentiment de l'auteur, par le Dr E. Robert-Tissot. Préface de Ch.-Ed. Guillaume (Actualités scientifiques) (in-16, 185 × 115 de xv-86 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1905 (Don de l'éditeur). 43730

DARIÈS (G.). — *Mathématiques*, par Georges Dariès. Deuxième édition revue et très augmentée (Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics (in-16, 185 × 120 de xi-549 p. avec 310 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43744

MASONI (U.). — *L'énergie hydraulique et les récepteurs hydrauliques*, par U. Masoni (Encyclopédie industrielle fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de iv-320 p. avec 207 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1905 (Don de l'éditeur). 43736

**Sciences morales. — Divers.**

*Mémoires de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand. Deuxième série. Fascicules 16, 17 et 18* (3 vol. in-8°, 250 × 160 de VIII-220 p., 152 p. et 188 p.). Clermont-Ferrand, Louis Bellet, 1903, 1904. 43745 à 43747

**Technologie générale.**

*Annales de la Société d'agriculture, sciences et industrie de Lyon. Septième série. Tome neuvième 1901* (in-8°, 260 × 175 de 232-39-XCVI p.). Lyon, Alexandre Rey; H. Georg. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1902. 43724

*Annuaire pour l'an 1905 publié par le Bureau des Longitudes, avec une Notice scientifique* (in-16, 150 × 90 de 669 p., A-74 p., B-44 p.). Paris, Gauthier-Villars. 43750

*Rapports du Jury international. Groupe I. Éducation et enseignement. Troisième partie. Classe 5 (Tome premier)* (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900 à Paris) (in-8°, 295 × 195 de XX-651 p. avec 254 fig.). Paris, Imprimerie nationale, 1904 (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900). 43720

*The Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. LXVI. N° II. 1904.* (in-8°, 220 × 140 de XIII-711 p. avec un portrait de Sir Lowthian Bell et 8 pl.). London, E. and F.-N. Spon, 1905. 43713

*Transactions of the American Society of Civil Engineers Vol. LIII, December 1904* (in-8°, 230 × 150 de V-520 p. avec XXXIV pl.). New-York, Published by the Society, 1904. 43718

**Travaux publics.**

FRICK (P.). — *Fouilles et fondations. Fouilles et fondations à l'air libre, sous l'eau, à l'air comprimé. Détails souterrains. Tunnels. Béton armé*, par P. Frick (Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics) (in-16, 185 × 120 de VIII-480-16 p. avec 372 fig.). Paris, V[ve] Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43715

# MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois de mars 1905, sont :

**Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :**

F. Alméras, présenté par MM. Coiseau, Groselier, Couvreux.
L. Ancel, — Coiseau, E. Cornuault, P. Besson.
Ch. Baron, — Guillet, Lépine, Stapfer.
F. Barré, — A. Cornuault, Lacaze, Laurain.
E. Decauville, — Coiseau, Couvreux, de Dax.
E.-A. Dobel, — Desjuzeur, Lordereau, Malo.
E. Guilhem, — André, Laurain, da Silva Freire.
V.-J. Kihurl, — Coiseau, Hillairet, Arnodin.
E. Kléber, — J. Hébert, H. Marx, Pittiot.
E.-M. Michel, — Hebert, Marie, Pittiot.
J.-F.-G. Nyssens-Hart, — Coiseau, Hillairet, Couvreux.
A.-E. Piesse, — Chavanon, Legat, Piat.
F. Ruhland, — Bouron, Lacaze, Laurain.
G. Treuillon, — Ducloux, Eyrolles, Galotti.
R.-P.-J. Wittebolle, — Brandon, Flicotaux, de Dax.

**Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :**

P.-D.-L. Bouzanquet, présenté par MM. Bergeron, Jannetez, Marboutin.
J. Clasen, — Ghislain, Gouvy, Thiry.
V. de Poliakoff, — Mallet, de Poliakoff, de Dax.
P.-J. de Saint-Léger, — Bouchet, Chabalier, Schuhler.

**Comme Membre Associé, M. :**

Jean Allard, présenté par MM. Coiseau, F. Allard, Chagnaud.

# RÉSUMÉ

DES

# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MARS 1905.

## PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 3 MARS 1905

PRÉSIDENCE DE M. L. COISEAU, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM. :

Paulin, P., ancien Élève de l'École des Arts et Métiers d'Angers (1861). Membre de la Société depuis 1896, Ingénieur de la Compagnie de Fives-Lille;

Lemarchand, E., Membre de la Société depuis 1876, manufacturier, filateur de coton, à Houlme;

Martin, W., Membre de la Société depuis 1859, Officier de la Légion d'honneur, ancien Ingénieur en chef de la Société des Mines de la Loire, gérant de l'usine à gaz de la Vallée de Deville, près Rouen, etc.;

Enfin, celui de M. Alexandre Lencauchez, Membre de la Société depuis 1863, Membre du Comité de 1892 à 1895 et en 1902-03, Membre de la 5e section du Comité en 1904 et 1905, Prix Nozo 1891, médaille de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale en 1896, 1897 et en 1902, et de la Société Technique de l'Industrie du gaz en France, en 1903.

Il n'est pas besoin de rappeler les nombreux travaux de M. Lencauchez dont les titres figurent dans nos Bulletins. M. Cornuault, Président de la 5e section, dont faisait partie M. Lencauchez, a prononcé à ses obsèques un discours qui sera reproduit dans l'un de nos plus prochains Bulletins.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues, et plus spécialement à celle de M. Lencauchez, l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer les décorations et nominations suivantes :

Commandeur du Medjidié : M. A. Scala;

Officier du Nicham Iftikar : M. A. de Gennes.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains Bulletins.

M. le Président annonce qu'un Congrès international des Accidents du travail et des Assurances sociales se tiendra, à Vienne, du 17 au 23 septembre prochain;

Une adjudication des travaux d'infrastructure, ouvrages d'art, etc., pour la ligne de Saïgon au Khanhoa et au Lanbian et pour la ligne de Hué à Quang-Tri, aura lieu, le 29 août 1905, à Paris et à Saïgon;

La Société de Géographie commerciale de Bordeaux a organisé un concours pour l'obtention des Prix Saint-Laurent. Ce concours sera clos le 31 décembre 1906.

Les renseignements relatifs à ces trois avis sont déposés au Secrétariat.

M. le Président dit que notre Collègue, M. Émile Vallot, a fait abandon d'une somme de 250 f, qui sera affectée, suivant son désir, au remboursement des obligations de notre Emprunt.

Il adresse à M. Vallot les vifs remerciements de la Société pour ce don généreux.

M. le Président est heureux d'annoncer également qu'un de nos plus anciens Sociétaires, un de nos doyens, Membre de la Société depuis 1852, et Secrétaire du Comité dans les quelques années qui ont suivi, vient de nous faire don, pour le fonds de secours, d'une somme de 1 000 f. Conformément au désir de notre Collègue, M. le Président est obligé de ne pas prononcer son nom, mais il lui adresse les remerciements les plus chaleureux de la Société.

M. L. Périssé a la parole pour sa communication sur une *Étude comparative des alcools dénaturés (Vienne 1904)*.

M. Lucien Périssé fait connaitre les résultats obtenus dans les essais d'alcools étrangers qu'il a été chargé d'effectuer à l'Exposition internationale des Alcools qui a eu lieu, à Vienne (Autriche), en mai et juin 1904.

La Section française organisée par le Commissaire général, M. G. Rives, avait été constituée en collectivité des exposants français dont les moteurs ont servi aux expériences; ces exposants étaient les suivants :

MM. de Dion-Bouton et Cie, qui avaient envoyé deux groupes électrogènes de leur construction : l'un, muni d'un moteur de 12 ch, avait une puissance de 6600 watts et alimentait les guirlandes de lampes qui éclairaient la Section française; l'autre groupe électrogène, de 2200 watts, servait aux essais comparatifs des alcools carburés.

M. Gobron avait envoyé un moteur de 10 ch, de son système très

connu à deux pistons opposés par cylindre, et c'est sur ce moteur que la plus grande partie des expériences de puissance et de consommation ont été faites; ce moteur était muni, comme frein, d'un moulinet dynamométrique du colonel Renard, qui a donné d'excellents résultats, et d'appareils de mesure perfectionnés : indicateur de Watt et enregistreur d'explosion Mathot, construits par M. Paul Garnier.

M. Brouhot, de Vierzon, M. Tony Huber, la Société l'Aster, complétaient la Section française dont les moteurs ont été des plus admirés.

A côté des renseignements très complets qu'il donne sur les moteurs, M. Lucien Périssé indique également une série d'observations techniques sur les moteurs exposés dans les Sections allemande et autrichienne et notamment sur les moteurs exposés par les Sociétés Otto, Kœrting, Dürr, Daimler, et MM. Langen et Wolf, Polke, Alexander Monski, etc.

Passant ensuite aux expériences proprement dites, M. L. Périssé fait connaître la méthode employée pour mesurer la puissance et la consommation ainsi que les procédés techniques employés par son collaborateur, M. Boulanger, qui a procédé aux analyses chimiques des différents alcools en ce qui concerne le procédé de dénaturation.

Les essais ont porté sur les alcools suivants : alcool dénaturé français servant d'étalon; alcool moteur autrichien servant également d'étalon; alcool à brûler ordinaire et alcool pour lampes à 95 degrés autrichien; alcool moteur et alcool ordinaire allemand; alcool moteur italien; alcool suisse; alcool dénaturé russe; alcools carburés Leprêtre et Autrichien; Duruptine. L'analyse chimique a permis de se rendre compte de la composition approximative des dénaturants employés dans les pays où la composition de ce dénaturant est tenue secrète comme en Autriche, en Italie, en Suisse et en Russie.

Les résultats des expériences très nombreuses et très minutieuses, auxquelles il a été procédé pendant la durée de l'Exposition de Vienne, se résument de la façon suivante :

*Essais de puissance (en chevaux-vapeur) :*

| | |
|---|---|
| Alcool moteur allemand . . . . . . . . . . | 11.7 ch |
| — — autrichien, . . . . . . . . . . | 10,9 |
| — russe . . . . . . . . . . . . . . . | 10,5 |
| — italien . . . . . . . . . . . . . . . | 10 |
| — suisse . . . . . . . . . . . . . . . | 9,8 |
| — français . . . . . . . . . . . . . . | 9,75 |

*Essais de consommation (grammes par cheval-heure) :*

| | |
|---|---|
| Alcool moteur autrichien . . . . . . . . . | 0,747 g |
| — — allemand . . . . . . . . . . | 0,835 |
| — russe . . . . . . . . . . . . . . . | 0,984 |
| — italien . . . . . . . . . . . . . . | 0,932 |
| — suisso . . . . . . . . . . . . . . | 1,048 |
| — français . . . . . . . . . . . . . | 0,932 |

On peut donc tirer de ces chiffres les conclusions suivantes :

L'alcool français donne moins de puissance que les alcools étrangers en raison de son dénaturant contenant du méthylène à dose massive et de la benzine très impure.

L'alcool français donne une consommation au cheval-heure plus élevée que les alcools moteurs autrichien, allemand et italien qui contiennent obligatoirement du benzol comme dénaturant.

M. Lucien Périssé exprime, en terminant, l'espoir que ces expériences serviront d'argument pour faire modifier le mode de dénaturation employée en France et qui est si préjudiciable au développement du combustible national.

M. E. Barbet demande quelle est la qualité des alcools dénaturés et sur lesquels ont été faits les essais dont il vient d'être parlé.

Cela a une certaine importance tant au point de vue de l'attaque des métaux des moteurs que du rendement dynamométrique.

En Allemagne, il semble qu'on dénature de préférence les produits qui ne sont pas les plus mauvais, des moyens goûts; on réserve pour les vernis les qualités tout à fait inférieures. En France, au contraire, on dénature les alcools de dernière qualité. Du reste, en général, en France, à l'alcool pour moteur on ajoute soi-même, du benzol.

Il serait à désirer qu'on pût avoir, en France, un alcool n'attaquant pas les métaux et cela par une modification du dénaturant.

M. L. Périssé répond qu'il n'a pas les renseignements demandés et qu'il lui a été impossible de se les procurer.

Peut-être l'infériorité qu'ont montrée dans les essais les alcools suisses et italiens est-elle due à ce que, comme en France, ils sont moins bien rectifiés.

M. le Président félicite M. L. Périssé des recherches intéressantes qu'il a présentées et qui seront certainement très appréciées par tous ceux qui s'occupent de la question de l'alcool moteur.

D'accord avec M. Barbet et ses Collègues, il espère que l'appel exprimé par M. Périssé sera entendu et que les fabricants français auront bientôt la possibilité de se mettre à la hauteur de leurs concurrents étrangers.

M. le Président fait connaître que, par suite de maladie, M. Cote, qui devait prendre la parole ce soir sur la *Législation des chutes d'eau*, se trouve dans l'impossibilité de venir à Paris.

Notre Collègue et ancien Président de la 1re Section, M. A. Moreau, a bien voulu accepter de remplacer M. Cote et de nous faire une communication sur *le Port de Buenos-Aires et les agrandissements projetés.*

M. A. Moreau a la parole.

M. Aug. Moreau expose que le système fluvial du Rio ou Estuaire de la Plata est le plus vaste du monde après celui de l'Amazone. Le Parana et l'Uruguay, qui l'alimentent, lui amènent les eaux de deux immenses bassins qui mesurent ensemble 3 238 500 km². Le débit moyen de ces deux fleuves, qui est d'environ 28 000 m³ par seconde, est double à l'époque des hautes eaux.

L'estuaire de la Plata, qui occupe une superficie de 13 000 km², est fréquemment troublé par de violentes tempêtes provoquées par les vents alizés du sud-est et par le Pampero qui traverse les plaines de la Pampa du sud ouest au nord-est.

Ces vents violents, à brusques écarts, et les courants rapides et chan-

geants de l'estuaire, en rendent la navigation d'autant plus dangereuse que les fonds se modifient par le dépôt d'alluvions fluviales apportées par ses deux grandes tributaires.

• Près du rivage, au droit de Buenos-Aires, le lit du Rio de La Plata est formé par des sables mouvants très fins qui reposent sur une couche solide de roches en formation. 2 ou 3 km plus loin on trouve des bancs de sable entourés de vase. Enfin, plus au large, en eaux profondes, il n'y a que de la vase.

Jusqu'en 1876, les grands navires jetaient l'ancre à 22 km de la côte où ils trouvaient des fonds de 6,40 m. Les marchandises étaient transbordées sur des bateaux plats qui les amenaient, soit le long du rivage, soit dans le Riachuelo, petit cours d'eau qui limite au sud la ville de Buenos-Aires. Cette dernière opération n'était pas toujours possible, car à marée basse l'embouchure du Riachuelo était presque toujours à sec.

En 1876, après un siècle de projets et de discussions, on entreprit des travaux dans le Riachuelo, dans le but d'y créer un port pouvant recevoir des navires calant 6,40 m. Ce port était relié aux eaux profondes de l'estuaire par un chenal de plus de 20 km de long suffisamment profond pour conserver 6,40 m de hauteur d'eau en marées basses ordinaires.

Entre l'embouchure du Riachuelo et les fonds de 4,50 m, ce chenal tracé en ligne droite sur une pente régulière, se prolonge jusqu'au mouillage des grands navires par deux courbes de 2 000 m, de navigation facile. Il suit ainsi les plus grandes profondeurs du thalweg avec le moindre développement.

Les travaux furent menés rapidement ; dès 1877 le Riachuelo recevait des navires calant 4,50 m, en 1878 ce tirant d'eau était sensiblement dépassé.

Les opérations de déchargement et de chargement étaient faites à proximité des entrepôts du commerce qui ont toujours été établis sur les rives du Riachuelo.

En 1881, le directeur de ces travaux, M. Huergo, Ingénieur argentin, soumit au Gouvernement un projet définitif pour l'achèvement du port de Buenos-Aires dont les ouvrages déjà exécutés constituaient les premiers éléments.

Le chenal d'accès du Riachuelo, approfondi et élargi, conduisait les navires dans un avant-port communiquant directement avec le Riachuelo canalisé. Une série de bassins à creuser sur la rive contiguë à la ville de Buenos-Aires faisait suite à cet avant-port.

Ces nouveaux bassins, tracés obliquement au rivage et parallèles entre eux, étaient accessibles du côté de la mer par un canal large de 200 m qui les reliait à l'avant-port. Ce canal était protégé contre les vagues du large par un brise-lames en maçonnerie.

Les bassins, étudiés de manière à pouvoir être construits au fur et à mesure de l'augmentation du tonnage du port, étaient facilement desservis par des voies ferrées, sans plaques tournantes ni ponts mobiles. Leur superficie variait entre 9 et 14 ha et la longueur utile des quais entre 1 600 et 2 400 m. Suivant leurs dimensions, ils devaient coûter 15 ou 20 millions de francs, y compris les entrepôts, les voies de

service et tous les appareils destinés à la manutention rapide des marchandises.

Ce projet, parfaitement adapté aux besoins locaux et qui assurait l'avenir, fut abandonné en 1886. Sans raison valable, on lui en préféra un autre élaboré par trois Ingénieurs anglais, MM. Hawshaw, Son et Hayter et présenté par un commerçant de Buenos-Aires, M. E. Madero.

La Direction générale des Travaux publics, les Ingénieurs de l'Etat et une Commission officielle d'Ingénieurs civils spécialement nommée pour examiner ce projet, firent de très sérieuses objections et présentèrent des rapports absolument défavorables. Tous ceux qui furent consultés, fonctionnaires ou particuliers, furent unanimes à conseiller le rejet de la proposition Madero.

Le Gouvernement d'alors passa outre et chargea, en décembre 1884, M. Madero et ses conseillers techniques de l'exécution de leur projet.

Le port Madero, qui a été creusé en terre ferme, parallèlement au rivage, se compose de quatre longs bassins rectangulaires compris entre deux avant-ports.

L'avant-port du sud communique avec les eaux profondes par le chenal ouvert par M. Huergo (chenal du Sud); celui du nord est relié à la rade extérieure par un nouveau chenal, dit chenal du Nord.

Les bassins tracés en enfilade sont séparés des avant-ports par des écluses et communiquent entre eux par d'étroits goulets de 20 m de largeur.

Un brise-lames, partie en maçonnerie de bèton et partie en bois, devait protéger le port contre les vagues do l'estuaire.

D'après le cahier des charges, cet ensemble de travaux devait coûter moins de 100 millions de francs.

Le chenal du Nord, en ligne droite sur tout son parcours, ne suit pas les lignes de plus grande pente du lit de l'estuaire, il coupe plusieurs bancs de sable peu consistant et traverse des bas-fonds. Il croise le chenal du Sud à 9 800 m du rivage par des fonds de 4,60 m et arrive en eau profonde après un parcours de 22 km.

D'après les chiffres que donne un mémoire présenté par M. Huergo au Congrès international des Ingénieurs de Saint-Louis, le port Madero et le chenal du Nord ont coûté 250 millions de francs.

L'ouverture du chenal du Nord, que les Ingénieurs de l'État et les Commissions techniques jugeaient absolument inutile et dont ils déclaraient le tracé défectueux, a coûté 39 millions. Le mètre cube de dragages pour ce chenal a coûté six fois plus que pour le chenal du Sud et pour la canalisation du Riachuelo. Enfin les dépenses exigées pour sa conservation sont considérables. Pendant les années 1902 et 1903 il a fallu draguer 10 655 506 m³ pour l'entretien des deux chenaux d'accès et du Riachuelo; sur ce cube, 8 823 727 m³ ont été extraits du chenal du Nord. La Direction générale des Travaux Hydrauliques a constaté que l'ensablement dans ce chenal était double de celui observé dans celui du Sud.

L'expérience a donc démontré le bien fondé des prévisions de M. Huergo, des Ingénieurs de l'État et des Commissions techniques.

Il est nécessaire d'ajouter que de graves malfaçons se sont produites :

il ne reste rien d'un brise-lames en bois, qui a coûté 6 millions de francs. Tout a été enlevé par les vagues.

A première vue, la capacité des bassins et la longueur des quais du port Madero paraissent suffisantes pour le tonnage actuel qui est d'environ 3 200 000 t (importations et exportations); mais, par suite des nombreuses erreurs commises, une partie des bassins et des quais est inutilisable. Le fait brutal est que ce port ne répond pas aux besoins du commerce et de la navigation.

Cette insuffisance est si évidente que le Gouvernement vient d'acheter le port de La Plata à la Province de Buenos-Aires, pour le prix de 55 millions de francs, dans le but d'y diriger une partie des marchandises destinées au port de la capitale et de le décharger d'autant. Le mauvais état d'entretien du port de La Plata et la distance (55 km) qui le sépare de Buenos-Aires, centre obligé des transactions commerciales, rendent cette solution très problématique.

Quand le Gouvernement argentin se rendit compte de l'insuffisance du port Madero, il chargea un Ingénieur américain, M. Elmer Corthell, d'étudier les réformes à réaliser. M. Corthell, s'inspirant du projet présenté en 1881 par M. Huergo, proposa de construire à l'est du port actuel un certain nombre de petits bassins obliques.

Malheureusement cette augmentation du nombre des bassins laisse subsister tous les inconvénients du port actuel. Le chenal du Nord, dont l'entretien est si inutilement dispendieux, est conservé; une partie des quais et des bassins reste inutilisable et l'accès des voies ferrées destinées à desservir les quais est rendu encore plus difficile.

D'après le devis présenté par M. Corthell, la réalisation de ses propositions coûterait 238 millions. Le port de Buenos-Aires, si incommode, coûterait donc.

| | |
|---|---|
| Construction du port Madero. . . . . . . . | 250 000 000 f |
| Agrandissements projetés par M. Corthell. | 238 000 000 f |
| Total. . . . | 488 000 000 f |

Sans compter les 55 millions dépensés pour acheter le port de La Plata.

M. Huergo estime qu'il serait déplorable, à tous les points de vue, d'entreprendre des travaux de cette importance sans les avoir suffisamment étudiés et sans s'être entouré des garanties nécessaires. Il ne faut pas commettre la même erreur qu'en 1884.

Il n'y a pas péril en la demeure. En réalisant certaines améliorations, relativement peu coûteuses, et en supprimant le chenal du Nord, on mettra le port Madero en état de recevoir un tonnage supérieur à celui actuel et on en rendra l'exploitation moins onéreuse.

Le Gouvernement dispose donc de tout le temps nécessaire pour préparer une solution définitive avec tout le sérieux qu'elle comporte.

En provoquant un débat public devant le Congrès de Saint-Louis, où assistait M. Corthell, M. Huergo a voulu appeler l'attention d'Ingénieurs autorisés et indépendants sur une question vitale pour son pays, et, pour préciser son but, il a posé la question suivante qui résume le débat :

« Convient-il de conserver les deux chenaux d'accès du port de Buenos-

Aires ou convient-il de n'en conserver qu'un? Celui du Sud ou celui du Nord? »

Les opinions émises et particulièrement celle de M. Haupt, Ingénieur américain de grande réputation, qui fait partie de la Commission du Canal de Panama, ont donné raison à M. Huergo qui réclame la suppression du chenal du Nord.

Ce point acquis, il demande que le Gouvernement argentin n'autorise aucun travail pour le port de Buenos-Aires, sans avoir au préalable demandé l'avis d'une Commission internationale composée des Ingénieurs spécialistes, des constructeurs et des marins les plus renommés du monde entier. Il lui parait également indispensable de mettre l'exécution des travaux en adjudication, au lieu de traiter directement de gré à gré avec une personne désignée, comme on l'a fait la première fois.

M. le Président remercie M. Aug. Moreau de la conférence, très intéressante pour tous, qu'il vient de faire. Il semble que le Gouvernement de la République Argentine gagnerait beaucoup à faire étudier sérieusement cette question, en la faisant examiner par des Ingénieurs compétents.

Certainement, si la chose avait été faite pour le premier projet, le bassin du Nord, par exemple, n'aurait pas été construit tel qu'il est, on ne lui aurait pas donné des murs droits qui produisent un ressac rendant l'accostage impossible aux navires.

Si le Gouvernement de la République Argentine a l'intention de nommer une Commission internationale pour examiner le nouveau projet d'agrandissement, et qu'un appel soit fait aux Ingénieurs et aux Constructeurs français, il rencontrera l'accueil le plus empressé.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. F. Alméras, F. Barré, E. Decauville, A. Dorel, V. Kihuel, E. Kléber, J. Nyssens-Hart, F. Ruhland et G. Treuillon, comme Membres Sociétaires Titulaires; et de

MM. P. Bouzanquet et V. de Poliakoff, comme Membres Sociétaires Assistants.

MM. L. Ancel, Ch. Baron, E. Guilhem, E. Michel, A. Piesse, R. Wittebolle sont reçus comme Membres Sociétaires Titulaires.

MM. J. Clasen et P. de Saint-Léger, comme Membres Sociétaires Assistants, et

M. Jean Allard, comme Membre Associé.

**La séance est levée à 11 heures.**

*L'un des Secrétaires techniques.*
F. Taupiat-de Saint Simeux.

# PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 17 MARS 1905

---

Présidence de M. L. Coiseau, Président.

La Séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de MM.

G. Thareau, Ancien Élève de l'École Centrale (1876), Membre de la Société depuis 1883, Expert près la Cour d'Appel et le Conseil de Préfecture de la Seine, Ingénieur chez MM. J. Grouvelle et H. Arquembourg;

E. Neveu, Membre de la Société depuis 1876, Chevalier de la Légion d'honneur, manufacturier;

E. Mathelin, Membre de la Société depuis 1880, Chevalier de la Légion d'honneur, ancien Directeur des ateliers de la Compagnie de Fives-Lille.

M. le Président vient également d'être avisé, à l'instant, du décès de M. Émile Level, Ancien Élève de l'École Centrale (1860), Membre de la Société depuis 1864, Membre du Comité en 1884, 1885, 1890 et 1891, Vice-Président en 1892.

Notre regretté Collègue, Officier de la Légion d'honneur, était Directeur de la Société générale des Chemins de fer économiques, Ancien Membre des Comités consultatif et technique des Chemins de fer. Ancien Conseiller municipal et Ancien Maire du xvii[e] arrondissement.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues les sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que M. G.-L. Gauthier a été nommé Chevalier du Mérite agricole, et il lui adresse les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains bulletins.

M. le Président fait connaître que, conformément aux Statuts et Règlement, M. L. Delloye, Directeur général du Service des Glaceries de la Compagnie de Saint-Gobain, a été nommé Membre du Comité, pour deux ans, en remplacement de M. A. Lencauchez, décédé.

M. P. Besson a la parole pour sa communication sur *Le radium et la radioactivité*.

M. P. Besson rappelle rapidement les deux communications qu'il a déjà faites sur le radium, devant la Société, en avril 1901 et en mars

1903. Depuis cette époque, la Science a pénétré le secret du radium, et les craintes que quelques personnes avaient eues pour le principe de la conservation de la matière et pour le principe de la conservation de l'énergie ont été vaines. La conquête scientifique de la fin du XVIII[e] siècle et du XIX[e] siècle demeure inébranlable.

M. P. Besson explique par quelle méthode M. et M[me] Curie ont été conduits à découvrir, dans des minerais d'uranium, des corps radioactifs nouveaux. Il montre, à l'aide d'un schéma, le dispositif employé; il fait voir les divers appareils inventés par M. Curie : condensateur à plateau parfaitement isolé, conducteur isolé, électromètre apériodique, quartz piezoélectrique, électroscope spécial. Il fait projeter un tableau où l'on voit la radioactivité des minéraux d'uranium et de thorium.

Il parle ensuite de la préparation du radium, qui exige de longues et compliquées opérations. Pour traiter 1 t de minerais provenant de Johachimsthal, il est nécessaire d'employer près de 2,5 t de produits chimiques et plus de 25 t d'eau distillée. L'opération, ne pouvant s'effectuer sur plus de 100 kg à la fois, dure deux mois.

Quand ce traitement d'usine est terminé, on procède, au laboratoire, à une opération dite fractionnement, qui permet d'isoler le bromure de radium du bromure de baryum qui le contient. M. Demarsay a fait l'étude spectroscopique du nouveau corps; il a déterminé trois raies principales et neuf raies moins importantes, dont l'intensité et la position permettent de classer le radium parmi les alcalino-terreux. Le poids atomique du nouveau corps a été déterminé par M[me] Curie; il est égal à 225.

M. Besson étudie ensuite la composition du rayonnement de Becquerel émis par le radium; il montre que les rayons se divisent en rayons déviés par le champ magnétique, et en rayons non déviés.

Parmi les premiers, certains rayons sont déviés d'une façon analogue aux rayons canaux de l'ampoule de Crookes; ces rayons, dits rayons $\alpha$, sont très peu pénétrants; d'autres rayons, dits $\beta$, sont analogues aux rayons cathodiques, et sont très pénétrants. Enfin, les rayons non déviés, dits rayons $\gamma$, sont semblables aux rayons X, et sont très pénétrants.

Après cette étude, M. Besson montre les propriétés physiques, chimiques et biologiques du radium : radiographie, ionisation de l'air, fluorescence, coloration du verre, etc. Il montre le petit appareil, dit spinthariscope de Crookes, dans lequel on voit, à la loupe, la décomposition de l'atome de radium, projetant, sur un écran au platino cyanure de baryum, une véritable pluie d'étoiles filantes.

Ensuite, il parle de la radioactivité induite; le radium dégage une sorte d'émanation qui rend les corps voisins radioactifs.

Quand le radium, mis en solution, est relié à une enceinte contenant du sulfure de zinc, on a une superbe phosphorescence. Il fait voir des ballons, contenant cette matière, qui s'éclairent dès qu'on les relie à une enceinte contenant une solution de radium. Il montre également la possibilité de condenser l'émanation radioactive dans l'air liquide. Il termine cette question par une étude rapide de la radioactivité de l'atmosphère et des eaux minérales.

Il explique ensuite que MM. Curie et Dewar ont montré que le *radium*

se transforme en *hélium;* c'est dans cette décomposition qu'il faut voir la source de l'énergie du radium.

La décomposition, pour les corps à poids atomiques élevés, serait générale : l'uranium se transformerait en radium, puis en hélium; le thorium se transformerait en argon. Il y aurait pour la matière, comme pour l'énergie, tendance générale au nivellement.

M. Besson termine en souhaitant que, de même que le XIXe siècle a mis en évidence l'unité de l'énergie, le XXe siècle établisse l'unité de la matière.

M. P. Chalon demande si, en outre des pechblendes de Bohême qui ont seules servi jusqu'à présent à l'extraction des matières radioactives, on ne connaît pas d'autres minerais susceptibles de fournir des substances du même genre.

On a beaucoup parlé, dernièrement, de recherches faites dans la région d'Autun, sur certains minerais de nature plombeuse, mais il ignore si elles ont abouti.

Il y a, dans la Société des Ingénieurs Civils, un certain nombre de Collègues qui s'occupent de mines métalliques et qui ont fréquemment l'occasion d'aller étudier à l'étranger des mines de plomb, de zinc, etc. Or, il serait fort intéressant qu'on leur fît connaître un procédé simple leur permettant, par des essais rapides, de constater la présence des matières radioactives.

M. P. Besson dit que les minerais récemment découverts en Saône-et-Loire sont des pyromorphites, qui ont probablement été rendues radioactives par des émanations provenant de la dissolution, dans l'eau, des phosphates d'urane qui se trouvent dans les terrains contenant ces pyromorphites.

Malheureusement cette dernière est un échantillon métallurgique, dont on ne trouve pas de véritables gisements.

Quant au procédé de recherche, le plus simple à employer est celui de la plaque photographique. Il n'y a qu'à pulvériser le minerai que l'on croit radioactif, le mettre dans un godet et le placer pendant vingt-quatre heures au-dessus d'une plaque photographique, bien entourée de papier noir. En comparant les traces laissées par une parcelle d'uranium-métal avec celles laissées par le minerai supposé radioactif, il est facile de savoir si ce dernier renferme ou non du radium.

M. Besson, du reste, examinera très volontiers tous les minerais radioactifs qui lui seraient envoyés.

M. H. Monnory demande au Conférencier quel est son sentiment sur l'hypothèse de Rutherford, à laquelle s'est rallié M. Curie, et qui considère l'émanation comme une substance de nature gazeuse, et aussi quel est son avis sur les désagrégations de l'émanation indiquées également par M. Curie. M. Curie a pensé que l'émanation devait se désagréger contre les corps solides au contact desquels elle se trouvait, en donnant successivement naissance à trois substances : la substance A qui se désagrège en donnant naissance à la substance B, laquelle se désagrège à son tour en donnant naissance à la substance C.

Cette série de transformations pourrait être indiquée à la suite de celles que M. Besson vient de développer relativement à l'uranium.

M. P. Besson répond que M. Curie a, en effet, étudié cette question et que notamment, il y a huit jours, il a fait une communication sur les lois de la désagrégation des émanations. M. Curie croit que toutes les émanations se détruisent, en cascades, par une série de stades successifs.

Il a même représenté ce phénomène par une formule renfermant six exponentiels.

M. le Président remercie M. Besson de sa remarquable communication et des belles expériences qu'il vient de faire. Il a montré le chemin parcouru dans le domaine des phénomènes radioactifs, par suite des découvertes de M. et Mme Curie, de M. Debierne et de M. Becquerel. Mais il nous a également rassurés en disant que le secret du radium était dissipé et que le principe de la transformation de la matière et de l'énergie n'était pas ébranlé. Il est certain que la contribution apportée, par ces dernières années, à la physique, est une des plus considérables qu'on ait enregistrées depuis longtemps.

M. le Président est sûr d'être l'interprète de tous en assurant à M. Besson qne nous l'entendrons toujours avec le plus grand intérêt, quand il voudra bien venir, comme aujourd'hui, nous tenir au courant des progrès réalisés dans ce domaine mystérieux.

M. L. Ancel a la parole pour sa communication sur *les Courants à haute fréquence et la Téléphonie sans fil.*

Cette communication comprend deux parties différentes : la première sur les Courants à haute fréquence, la deuxième sur la Téléphonie sans fil.

*Première partie.* — M. L. Ancel rappelle brièvement la découverte des courants à haute fréquence, il examine les procédés les plus faciles et les combinaisons employées pour les produire.

Il passe ensuite en revue les différentes applications de ces courants à l'électrothérapie, la téléphonie sans fil et à quelques applications industrielles.

Il termine cette première partie en concluant que ces courants ont trouvé leur application dans l'électrothérapie, mais ils peuvent être employés industriellement, surtout pour la production de l'ozone, pour la téléphonie sans fil et pour l'allumage des moteurs à explosion. Peut-être même, dans l'avenir, la lumière froide et sans fil pourrait-elle être facilement produite par les courants de grande fréquence et de haute tension.

*Deuxième partie.* — Le Conférencier examine les trois systèmes employés pour la téléphonie sans fil, savoir : 1° par ondes hertziennes ou courants de haute fréquence; 2° par ondes telluriques, c'est-à-dire par la terre et par l'eau; 3° par ondes lumineuses à l'aide du selenium.

Il décrit très brièvement les deux premiers systèmes et s'étend davantage sur la troisième partie sur laquelle il a fait des recherches et des travaux plus spéciaux.

Il montre comment, au moyen d'une réunion de dispositifs ordinairement employés pour l'arc chantant ou par l'emploi de la lumière solaire, on peut arriver à communiquer déjà à une certaine distance.

La téléphonie sans fil par ondes lumineuses, dit M. Ancel, est déjà entrée dans le domaine de la pratique et permettra, très probablement d'ici peu de temps, de correspondre rapidement, sûrement, sans être obligé d'installer des lignes parallèles comme dans la téléphonie sans fil par la terre et l'eau.

Il termine en disant quelques mots sur le *Photographophone*, appareil permettant de photographier, en quelque sorte, sur une pellicule cinématographique, la parole, et de reproduire ensuite cette dernière à l'aide du selenium, et il dit un mot des expériences, actuellement en cours, dans lesquelles le selenium a été utilisé pour la transmission des images à distance.

Il se réserve de faire de ces deux questions l'objet d'une communication ultérieure.

M. le Président remercie M. Ancel de son intéressante communication et espère que le succès continuera à couronner ses recherches.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. Daloz, A. Leloup, E. Lemaitre, A.-A. Michault, A.-J. Réquier, P.-L. Hulin, E. Faraggi-Vitalis, comme Sociétaires Titulaires.

MM. F. Alméras, F.-F. Barré, E. Decauville, A. A. Dorel, V.-J. Kihuel, E. Kléber, J.-F.-C. Nyssens-Hart, F. Ruhland, G. Treuillon sont admis comme Sociétaires Titulaires et

MM. V. de Poliakoff et P.-D.-L. Bouzanquet comme Sociétaires Assistants.

**La séance est levée à 11 heures trois quarts.**

*L'un des Secrétaires techniques :*
Taupiat de Saint-Symeux.

---

# TRAVAUX DE CONSTRUCTION

DES

# DIFFÉRENTES LIGNES

DU

# MÉTROPOLITAIN DE PARIS

PAR

**M. Georges LESOURD**

---

## INTRODUCTION

La Société des Ingénieurs Civils de France a eu maintes fois à s'occuper du Métropolitain. En remontant à 1872, on ne trouve pas moins de quarante-trois séances où il en a été question, et un assez grand nombre d'entre elles ont été consacrées tout entières à la discussion du projet officiel de 1882, des projets Brame et Flachat, Revin, Haag, Jules Garnier, du rapport de M. Pradon, Député, au nom de la Commission législative et d'une foule d'autres propositions.

Un très grand nombre de nos Collègues ont pris part à ces discussions, surtout au point de vue du tracé, de l'emploi du souterrain ou du viaduc, et du mode de traction.

Nous avons tenu à rappeler ces travaux pour montrer l'intérêt que la Société a toujours témoigné à cette question; un volume ne suffirait pas à en faire l'analyse (1).

Quoi qu'il en soit, la première idée sérieuse d'un Chemin de fer Métropolitain parisien date de 1855, époque à laquelle MM. Brame et Flachat, en vue surtout d'assurer l'approvisionnement des Halles, émirent l'idée de relier le centre de Paris à sa circonférence. Ce n'est, toutefois, qu'en 1871 que l'idée prend corps par une délibération du Conseil général de la Seine qui pose le problème avec une netteté et une sûreté de vues telles

(1) Il est bon d'ajouter, pour compléter cet exposé, ainsi que l'a fait fort judicieusement observer en séance M. le Président, qu'en 1883, M. Berlier, ayant derrière lui tout un groupe d'Ingénieurs et d'Entrepreneurs de travaux publics prêts à l'exécution, avait sollicité et obtenu la concession de la ligne n° 1 telle, pour ainsi dire, qu'elle a été exécutée depuis. Ce projet n'eut pas de suite, surtout à cause du manque de confiance des grands établissements de crédit dans les résultats de l'exploitation.

qu'on croirait se trouver en présence du projet actuel, avec ses deux lignes de ceinture par les boulevards extérieurs et les grands boulevards, ses transversales, et la réunion des diverses grandes gares entre elles.

Une Commission fut chargée de l'étude de la question et, en mai 1872, le Conseil général autorisait le Préfet de la Seine à mettre le projet à exécution. Cette délibération ne fut suivie d'aucun effet, probablement à cause de la période néfaste qu'on venait de traverser.

Toutefois, l'idée continue à faire son chemin et le Conseil général, en novembre 1875, décidait la continuation des études du réseau. Le projet définitif, terminé en 1877, donnait les bases fondamentales dont on s'est, en somme, peu écarté pour la construction du Métropolitain. Il était envisagé comme devant surtout servir de jonction entre les différentes gares des grandes lignes et entre ces gares terminus et le centre de Paris. Personne ne semblait supposer à cette époque que les lignes métropolitaines tireraient la presque totalité de leur activité d'elles-mêmes, et que la question de jonction des grandes gares était une chose plutôt secondaire.

Le projet ne pouvait s'appuyer alors que sur la loi de 1865, n'admettant que des lignes d'« intérêt général ».

La loi de 1880, qui envisageait l'établissement de chemins de fer d'« intérêt local » établis par les communes sur leur propre territoire, changea la face de la question. En 1883, le Conseil municipal de Paris arrêtait les grandes lignes d'un chemin de fer d'intérêt local parisien, purement urbain, et demandait aux Chambres le vote d'une loi déclarant ce réseau d'utilité publique et autorisant sa construction. Le Conseil supérieur des Ponts et Chaussées émit un avis conforme; mais, en 1884, le Conseil d'État se prononçait pour la négative, estimant que la ligne projetée était d'intérêt général et ne pouvait, en aucune façon, être concédée à la Ville de Paris. L'avis de cette haute juridiction étant prépondérant, la question fut considérée comme tranchée dans ce sens, et les Gouvernements qui suivirent n'eurent en vue que la construction d'un Métropolitain considéré comme ligne d'intérêt général.

C'est cette manière de voir qui fut une des principales causes de retard. Toutefois, en 1887, la Chambre émettait un vote absolument opposé à la décision du Conseil d'État et, en juillet 1889, M. Sauton, rapporteur du Conseil municipal, précisait la ques-

tion en termes extrêmement nets : « Le Métropolitain, disait-il,
» se traînera d'échec en échec, d'avortement en avortement,
» tant qu'on persistera à vouloir grouper dans un même ensemble
» l'intérêt urbain, celui de l'État et celui du Syndicat des
» grandes Compagnies... Le prolongement dans Paris d'une ligne
» d'intérêt général est lui-même d'intérêt général ; mais les
» lignes dans Paris qui ne sont pas les prolongements des
» grandes lignes et ne se relient pas à celles-ci « rail à rail »
» sont d'intérêt local. »

Aussi, malgré diverses tentatives, malgré la lassitude du Conseil municipal qui, en 1891, alla jusqu'à céder sur cette question de principe, les choses restent en l'état jusqu'en octobre 1894, date à laquelle le Gouvernement saisit la Ville de Paris d'un projet de Métropolitain établi surtout en vue de l'Exposition universelle qui venait d'être décidée ; il persiste, toutefois, à maintenir au projet son caractère d'intérêt général. En janvier 1895, le Conseil municipal rejette intégralement cette proposition et consacre d'une façon absolue ce fait : « que le réseau » métropolitain urbain sera autonome ou ne sera pas ». Devant cette ferme attitude, les pouvoirs publics, pressés par l'approche de l'Exposition, cèdent, et, en novembre 1895, le Ministre des Travaux publics reconnaît à la Ville le droit d'assurer, comme toute autre commune de France aurait pu le faire, conformément à la loi de 1880, l'exécution, à titre d'intérêt purement local, du réseau prévu.

La Commission spéciale du Conseil reprend ses études avec la plus grande activité et, dès le commencement de 1896, elle trace le programme du réseau urbain municipal qui doit remplir le double but : « de suppléer à l'insuffisance des transports en » commun dans Paris et de mettre en valeur les quartiers éloi- » gnés de la capitale. »

Le 20 avril 1896, sur le rapport de M. Berthelot, le Conseil vote la mise à l'enquête d'un avant-projet établi conformément à ce programme ; le 30 décembre, il confie aux Ingénieurs de la Ville le soin d'en élaborer la construction et, le 9 juillet 1897, il approuve le projet définitif qui lui est présenté, en même temps que la concession et le cahier des charges.

Le 30 mars 1898, une loi déclare l'utilité publique et met fin à la longue série d'intrigues et de luttes qui, pendant plus de vingt-cinq ans, ont fait échouer les tentatives successives.

Le Métropolitain était construit par la Ville, ce qui permettait

de réduire à trente-cinq années, au lieu de soixante-quinze, la durée de la concession. La Ville de Paris, avec son crédit illimité, pouvait se procurer des capitaux à un taux inférieur à toute Société privée et envisager immédiatement l'exécution de la totalité de l'entreprise avec le capital énorme qu'elle nécessitait.

L'action directe de la Ville était toutefois limitée aux seuls travaux d'infrastructure des diverses lignes ; le concessionnaire avait charge de tout le reste.

Après examen des demandes en concession déposées, le choix s'est porté sur la Compagnie générale de Traction, associée avec les Établissements du Creusot. Elle s'engageait à créer, dans les six mois de la déclaration d'utilité publique, une Société au capital minimum de 25 millions en numéraire, ayant pour objet exclusif l'exploitation du Métropolitain à ses risques et périls, sans garantie d'aucune sorte de la part de la Ville ; toutes ses dépenses doivent être recouvrées par elle à l'aide des recettes, diminuées d'une certaine redevance par place qu'elle abandonnait à la Ville pour lui permettre de gager son emprunt.

Immédiatement après la promulgation de cette loi et vu le temps extrêmement court qui restait, on passa à la période d'exécution, qui fut poussée avec une rapidité telle, que la ligne Vincennes-Maillot, avec les amorces Étoile-Dauphine et Étoile-Trocadéro, destinée à être un des principaux moyens de communication de l'Exposition universelle, non seulement avec l'annexe de Vincennes, mais avec tout Paris, pouvait être mise en service régulier dès le mois de mai 1900, c'est-à-dire avec un retard insignifiant sur les délais prévus.

## Considérations générales.

OUVRAGES-TYPES. — COURBES ET DÉCLIVITÉS.
PÉNÉTRATION ÉVENTUELLE DES GRANDES LIGNES. — EXPLOITATION.

*Ouvrages-types.* — Lors de l'établissement du projet du Métropolitain, on adopta d'une façon définitive certains ouvrages-types qu'on rencontrera sur toutes les lignes avec les mêmes cotes et qui sont les suivants :

1° Le souterrain voûté à une voie *(fig. 1)*;
2° Le souterrain voûté à deux voies *(fig. 2)*;
3° Le souterrain à tablier métallique *(fig. 3)*;
4° La station entièrement voûtée *(fig. 4)*;

5° La station à tablier métallique *(fig. 5 et 6)*;

6° La tranchée pour passage de voie souterraine en voie aérienne et *vice versa (fig. 7)*.

Ils sont représentés avec leurs cotes normales.

Ces cotes subissent certaines variations, lorsque, au lieu d'être en alignement droit ou en courbe normale, ces ouvrages sont situés dans des courbes de plus faible rayon.

Les quais ont été construits après achèvement complet des stations et construction du radier. La plupart du temps, ils sont latéraux et ont 4 m de large. On verra cependant, principalement pour les stations terminus, ou de croisement, des quais disposés de façons fort différentes et fort diverses.

*Courbes et déclivités.* — Le rayon minimum admis est de 75 m et deux courbes inverses sont toujours séparées par un alignement droit d'au moins 50 m; une seule exception se rencontre à la Bastille où on trouve deux courbes de 50 m avec un alignement droit de 34 m. Il est bon de dire qu'en ce moment même on modifie une de ces courbes.

La déclivité maxima admise est de 0,04 m par mètre, deux pentes de sens inverse étant toujours séparées par un palier d'au moins 50 m. Aucune dérogation n'a été apportée à cette condition.

On a complètement banni toute traversée de voies à niveau; tous les raccordements ou bifurcations se font par galeries spéciales passant au-dessus et au-dessous des voies principales.

Toutes les stations sont en palier.

*Pénétration éventuelle des grandes lignes.* — L'article 3 de la loi du 30 mars 1898 stipule que le tracé du Métropolitain devra laisser réalisable, au point de vue technique, la pénétration des grandes lignes dans Paris; ce tracé a donc été étudié de façon à permettre le raccordement de la gare d'Orléans avec les gares des Invalides et Saint-Lazare, et le raccordement des gares du Nord et de l'Est avec les gares de Vincennes, Paris-Lyon et Orléans.

*Exploitation.* — Le mode d'exploitation définitivement adopté a été celui dit *en navette*, consistant à faire parcourir aux trains toute une ligne bien définie et à les faire revenir au point de départ; les changements de sens à chaque extrémité s'effectuent par le parcours d'une boucle fermée, de façon à n'a-

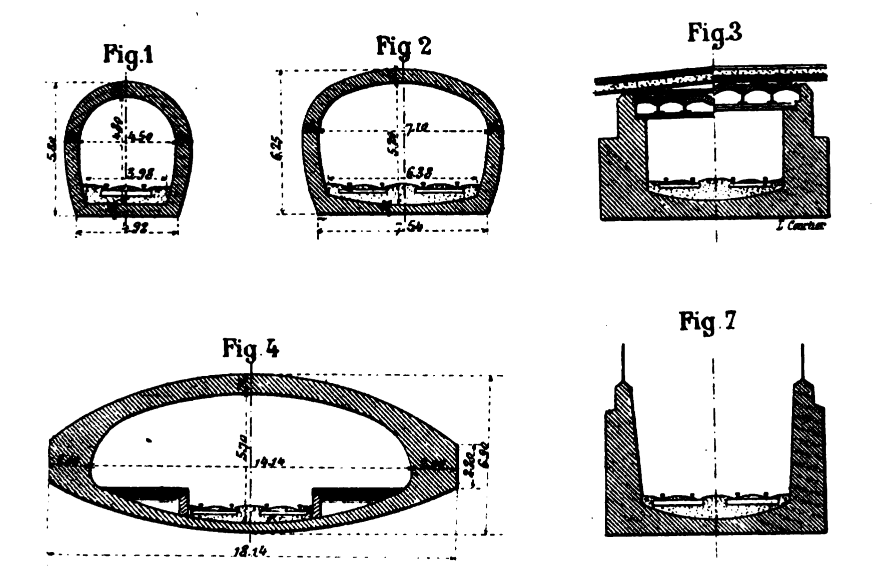



Fig. 5. Coupe transversale

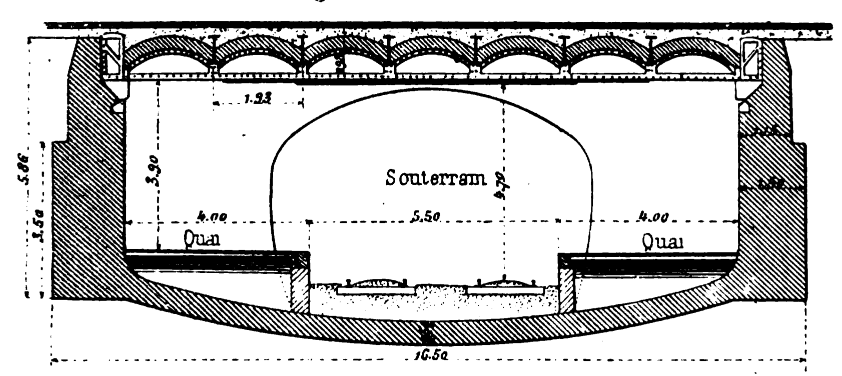
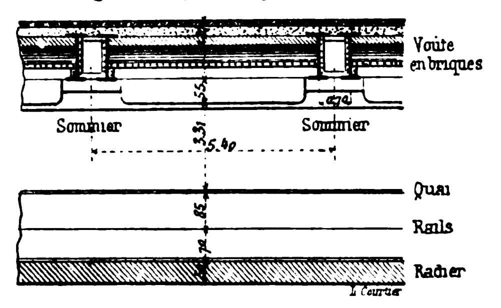



Fig 6. Coupe longitudinale



voir jamais à apporter de modifications dans la composition des trains. Ce système nécessite l'établissement de boucles terminus et, en outre, de voies de garage pour remiser momentanément les trains avariés.

A un autre point de vue, l'intensité du service a fait reconnaître également la nécessité, à proximité des points terminus, de voies de service ou voies de manœuvre, sur lesquelles on peut remiser des trains pour passer immédiatement, à certaines heures, d'un service lent à un service intensif et *vice versa*. Il y a enfin des voies de dépôt ou de remisage, sur lesquelles on remise le matériel en dehors du service, le matériel de réserve ou le matériel à inspecter ou à réparer.

La convention limite à 72 m la longueur des trains, chiffre qui a servi de base à l'établissement des stations.

## Profil en long.

Le tracé du profil en long du Métropolitain, sauf les cas particuliers où il était indispensable de déroger à cette règle fondamentale, dérive de deux préoccupations principales :

Réduire au minimum le nombre de marches pour gagner les quais, et, malgré cela, être à une profondeur suffisante pour pouvoir exécuter le tunnel en galerie sans entraver la circulation et sans nuire, dans les voies étroites, à la solidité des immeubles riverains.

On a adopté, dans ce but, la cote de 1 m entre l'extrados des ouvrages et le sol; ce qui, étant donnée la hauteur des stations voûtées correspond à une descente d'environ 8 m, coupée du reste généralement en deux par la salle de distribution des billets.

Il est certain qu'en plaçant le Métropolitain à une profondeur beaucoup plus grande, les travaux auraient été, la plupart du temps, plus faciles à exécuter, parce qu'on se serait trouvé dans des terrains plus homogènes, et qu'on n'aurait rencontré ni les ouvrages souterrains qui sillonnent le sous-sol de Paris, ni une quantité de fondations du Vieux Paris qui ont entravé très fréquemment les travaux. On aurait toutefois dû, avec ce tracé, faire un emploi presque général d'ascenseurs qui auraient certainement retardé et compliqué les communications avec le sol; enfin on se serait trouvé, dans le cas de toutes les lignes au niveau de la Seine, en dessous de la nappe d'eau, ce qui, sans

présenter des difficultés insurmontables, aurait pu cependant créer des complications.

La construction des lignes métropolitaines a donc donné lieu à un remaniement préalable du réseau d'égouts, et des diverses autres canalisations, et nous donnerons une idée de son importance en citant, à propos de chaque ligne, les principaux de ces travaux.

## Répartition générale des lignes.

Après d'assez nombreuses modifications et variantes au projet primitif, le tracé du réseau métropolitain a été définitivement établi comme il suit :

Ligne n° 1 : Porte de Vincennes-Porte Maillot.

Ligne n° 2 : 1° Circulaire Nord : Porte Dauphine-Place de la Nation par les boulevards extérieurs (rive droite) ; 2° Circulaire Sud : Place de l'Étoile-Place de la Nation par les boulevards extérieurs (rive gauche), y compris l'ancienne ligne n° 6 qui allait de la Place d'Italie à la Place de la Nation.

Ligne n° 3 : Boulevard de Courcelles-Ménilmontant, ou mieux : Avenue de Villiers-Place Gambetta.

Ligne n° 4 : Porte d'Orléans-Porte de Clignancourt.

Ligne n° 5 : Boulevard de Strasbourg-Place d'Italie.

Ligne n° 6 : Place d'Italie-Place de la Nation, incorporée dans la Circulaire 2 Sud.

Ligne n° 7 : Palais-Royal-Place du Danube.

Ligne n° 8 : Auteuil-Opéra.

L'ensemble du réseau ainsi prévu a une longueur totale d'environ 75 km.

Les six premières lignes sont déjà concédées.

Elles doivent être exécutées d'après leurs numéros d'ordre, les lignes n$^{os}$ 1, 2 et 3 formant un premier réseau, les lignes n$^{os}$ 4, 5 et 6 un deuxième réseau. Il n'y a eu que quelques exceptions à cette règle, toujours nécessitées par la question d'urgence.

Les lignes n$^{os}$ 7 et 8 forment un réseau dit « éventuel » dont le tracé et la longueur pourront peut-être subir quelques modifications.

On a, du reste, mis dès à présent à l'étude, soit des lignes supplémentaires, soit des prolongements de lignes déjà existantes, indépendamment de la ligne Montmartre-Montparnasse qui est

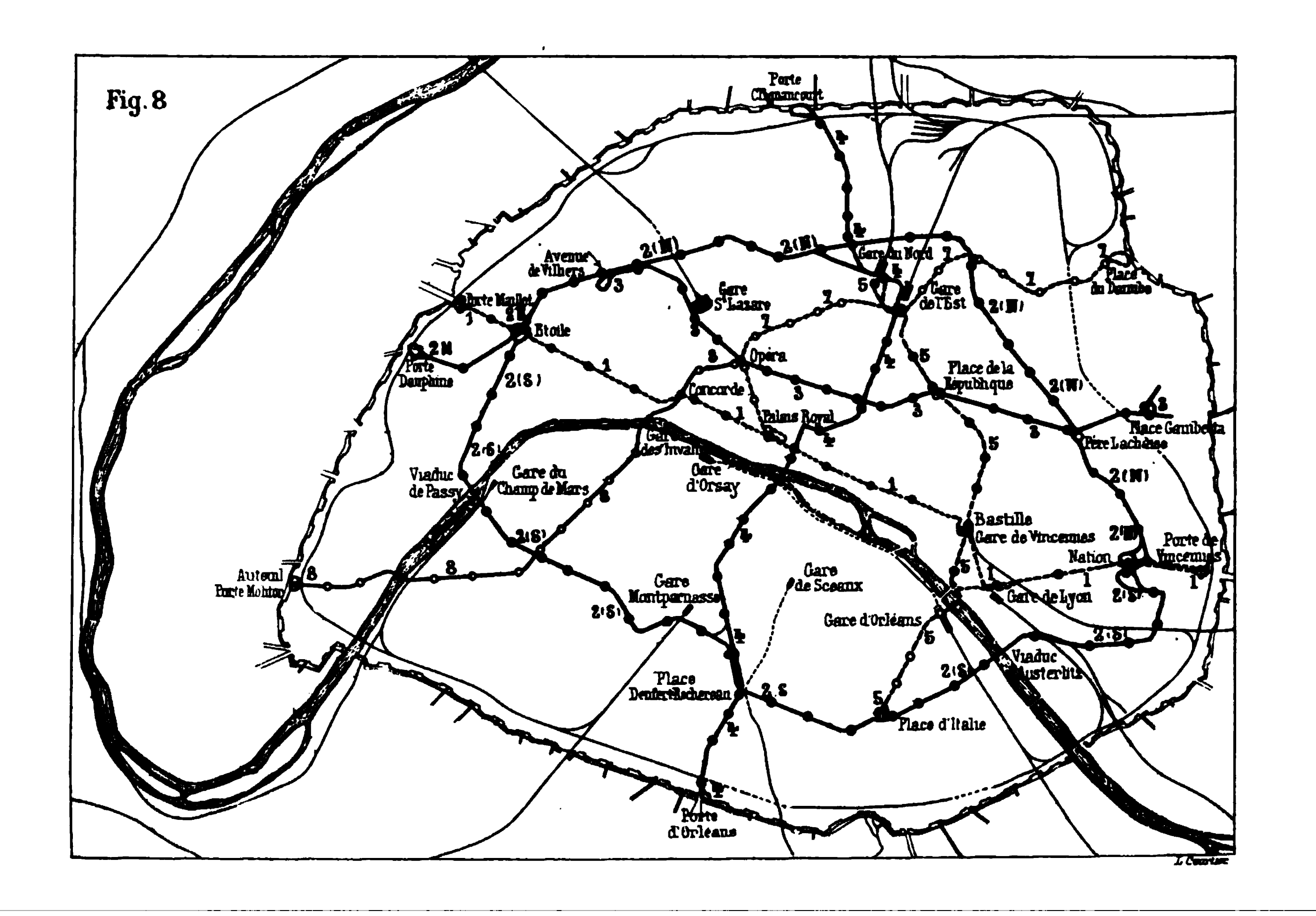

Porte Clignancourt
Gare du Nord
Gare de l'Est
Place du Danube
Avenue de Villiers
Porte Maillot
Etoile
Gare S^t Lazare
Opéra
Porte Dauphine
Concorde
Palais Royal
Place de la République
Place Gambetta
Père Lachaise
Gare d'Orsay
Viaduc de Passy
Gare du Champ de Mars
Bastille
Gare de Vincennes
Nation
Porte de Vincennes
Auteuil
Porte Molitor
Gare Montparnasse
Gare de Sceaux
Gare de Lyon
Gare d'Orléans
Viaduc Austerlitz
Place Denfert-Rochereau
Place d'Italie
Porte d'Orléans

Fig. 8

destinée à devenir une des principales artères métropolitaines, et qui vient d'être concédée à M. Berlier.

Sur le plan général ci-contre *(fig. 8)*, on a indiqué exclusivement, pour plus de clarté :

Les lignes projetées, l'enceinte de Paris, la Seine et les diverses lignes de chemin de fer pénétrant dans Paris.

## État général d'avancement des lignes au 1er janvier 1905.

Les lignes n° 1, n° 2 Nord et n° 3 sont livrées à la circulation ainsi que l'amorce de la ligne n° 2 Sud depuis l'Étoile jusqu'à la station du quai de Passy.

La seconde partie de la ligne n° 2 Sud, entre le quai de Passy et la Place d'Italie, est entièrement terminée à l'exception du viaduc de Passy.

La portion de la ligne n° 2 Sud, entre la Place d'Italie et la Place de la Nation, qui portait primitivement le nom de ligne n° 6, est actuellement en cours d'exécution.

La ligne n° 5 est faite depuis la Place d'Italie jusqu'au boulevard Saint-Marcel; elle est en cours d'exécution très avancée jusqu'à l'autre rive de la Seine qu'elle traverse sur le nouveau pont d'Austerlitz.

Le petit raccordement qui joint la station Arsenal de la ligne n° 5, à la gare de Lyon, est également en voie d'exécution.

Le reste de la ligne n° 5, entre le pont d'Austerlitz et la gare de l'Est, est en construction depuis environ six mois.

Seule la partie terminus située entre la gare de l'Est et la gare du Nord a été jusqu'ici réservée.

La ligne n° 4 est en cour d'exécution sous la rue de Rennes, depuis Saint-Germain-des-Prés jusqu'à la rue de Vaugirard.

Le restant de cette ligne n'est pas commencé, mais va être mis incessamment en adjudication.

Pour les lignes nos 7 et 8, il n'y a encore rien de décidé (1).

(1) Ces indications subissent, bien entendu, des modifications continuelles.

Fig. 9

Sables de Fontainebleau — 30 m.
Marnes à huîtres
Travertin de la Brie
Glaise verte à céramique
Marnes supragypseuses blanches au sommet bleues à la base (Chaux et ciments)
1ère Masse de gypse
Marnes diverses
2ème Masse de gypse
Marnes gypseuses
3ème Masse de gypse
Marnes à Pholadomie
4ème Masse de gypse
Sables infragypseux
Travertin de St Ouen (Marnes et calcaire crème)
Sables de Beauchamps
Calcaire grossier supérieur (Caillasses)
Calcaire grossier moyen ou miliolithique
Calcaire grossier inférieur ou glauconieux
Argile plastique
Marnes de Meudon et calcaire pisolithique
Craie blanche — 200 m.

## Ensemble géologique du bassin de Paris.

Le bassin de Paris est composé d'une vaste partie plate située très peu au-dessus du niveau normal de la Seine et qui se relève tout autour pour former, d'une part, sur la rive droite, les hauteurs d'Auteuil, Passy, les Ternes, Batignolles, Montmartre, Belleville, Ménilmontant; d'autre part, sur la rive gauche, celles des Gobelins et du Luxembourg.

Si l'on considère un puits idéal qui serait foncé au-dessus de la Seine en supposant que tous les terrains successifs subsistent suivant leur formation régulière, on trouverait la coupe indiquée (fig. 9). Elle est caractérisée, comme on le voit, par les sables de Fontainebleau à la partie supérieure et par la craie blanche de Meudon à la partie inférieure; les diverses épaisseurs sont indiquées à l'échelle de 1 mm, et on voit de suite que pour passer de la base des sables de Fontainebleau qu'on rencontre à Montmartre, au sommet de la craie blanche qu'on effleure dans les fondations du pont de Passy, il faut franchir un espace d'environ 135 m. Les épaisseurs indiquées sont des épaisseurs moyennes de bancs qui peuvent varier évidemment suivant les accidents géologiques qui se sont produits.

Il est à remarquer de suite que cette couche de terrains, au lieu de régner horizontalement, comme cela devrait être, sur tout le bassin de Paris, s'abaisse très notablement de

Meudon vers Saint-Denis; cette inflexion a produit un renflement vers le point le plus bas (Saint-Denis), de sorte que les couches se sont considérablement amincies côté Meudon et épaissies côté Saint-Denis.

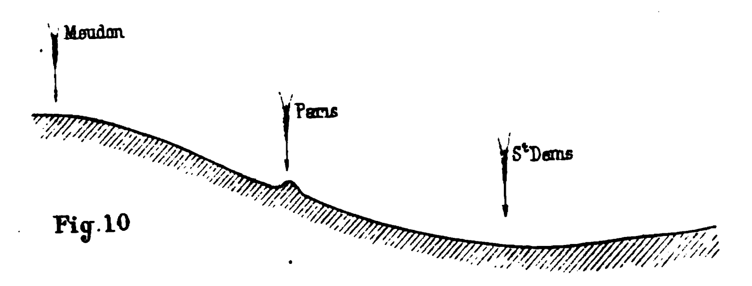


Fig. 10

La figure 10 montre en un seul trait ce profil : Meudon étant à la partie supérieure, Saint-Denis en bas et Paris avec le haut relief de la butte Montmartre vers le milieu.

La figure 11, extraite de la Géologie de Lapparent, indique du

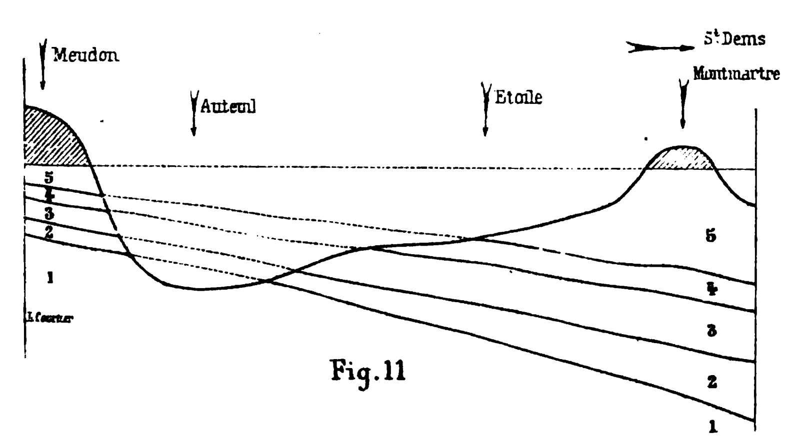


Fig. 11

reste parfaitement, à l'échelle de $\frac{1}{10000}$ pour les hauteurs, le phénomène d'épaississement des couches entre Meudon et Montmartre, avec, comme points intermédiaires de comparaison, Auteuil et l'Étoile.

La partie hachurée représente les sables de Fontainebleau ;

Le n° 5, les gypses et marnes;

Le n° 4, les sables de Beauchamps et le calcaire de Saint-Ouen ;

Le n° 3, le calcaire grossier;

Le n° 2, l'argile plastique ;

En dessous, la craie.

Les « sables de Fontainebleau », qui forment, dans le profil géologique type, la partie supérieure du bassin de Paris, ont une épaisseur normale de 30 m environ ; à Paris, on ne rencontre que leur base à Meudon, Montmartre, Belleville et Ménilmontant ; on ne les voit nulle part autre. Les diverses lignes du Métropolitain les rencontreront donc dans ces parages, tandis qu'elles plongeront dans la partie la plus basse, c'est-à-dire l'argile plastique et les marnes de Meudon qui précèdent immédiatement la craie blanche, aux fondations du pont de Passy.

En dessous des sables de Fontainebleau viennent, avec les épaisseurs indiquées *(fig. 9)* les « marnes à huîtres » ; le « travertin de la Brie », comprenant : argiles, calcaires et meulières ; les marnes ou glaises vertes à céramique, employées par toutes les fabriques de poterie de la région ; les « marnes supragypseuses », servant à la fabrication des chaux et ciments, blanches au sommet, bleues à la base, interrompues par quatre ou cinq bandes peu épaisses de « gypse » gris impur.

Viennent ensuite, sur une épaisseur d'environ 16 m, les bancs de « gypse » disposés en quatre masses absolument distinctes.

La première masse, la plus importante, comportant au sommet, sur une épaisseur d'ailleurs faible, une bande de gypse cristallisé connu sous le nom de « fers de lances » et qu'on ne retrouve nulle part ailleurs ; à la base, une bande de cristaux mêlés appelés vulgairement « chiens » ; vient ensuite une couche de marnes diverses avec des bandes de gypse gris impur.

La deuxième masse de gypse est formée de cristaux fers de lances verticaux ou « pieds d'alouette ». A la base, des marnes gypseuses.

La troisième masse, très peu épaisse, est formée de gypse compacte ; au-dessous, une couche de marne jaune à « pholadomie », une très faible couche de marne blanche, puis enfin, la quatrième masse divisée en deux bandes de 1,25 m chacune environ, séparées par une petite couche de calcaire sableux.

La base des masses de gypse est caractérisée partout, sans distinction, par une bande de 2 m environ d'épaisseur, très reconnaissable et très caractéristique, et qu'on appelle les « sables verts infragypseux » de Monceau et d'Argenteuil, ou encore sables de Cresne.

En dessous, on trouve le « travertin de Saint-Ouen », formé de marnes et calcaires crème ; les « sables de Beauchamps », sur environ 5 m ; puis les trois bancs de « calcaire grossier », dont

l'épaisseur totale varie de 30 à 40 m, composé de trois parties distinctes :

Le « calcaire grossier supérieur » avec caillasses, le « calcaire grossier moyen » ou « miliolithique » formé de grains extrêmement fins et le « calcaire grossier inférieur » ou « glauconieux ».

Au-dessous du calcaire grossier, on trouve l'« argile plastique » sur environ 25 m, les « marnes de Meudon », le « calcaire pisolithique », et, enfin, la « craie blanche » de Meudon, dont l'épaisseur atteint jusqu'à 200 m.

En ce qui concerne ce qu'on appelle le *plan d'eau*, il correspond, sous Paris, d'une façon générale, à une cote un peu supérieure au niveau de la Seine. Toutefois, par une sorte de phénomène capillaire, il est influencé par le relèvement des divers bancs; il s'étend sous tout Paris et on le rencontrera, par conséquent, d'une façon régulière, chaque fois que les ouvrages descendront au-dessous de sa cote, au point considéré.

Toutes les autres infiltrations qu'on rencontrera dans les travaux, à des niveaux supérieurs, proviennent de sources distinctes qui formaient, dans l'ancien temps, autant de petits cours d'eau partant des collines avoisinantes pour traverser Paris et se jeter dans la Seine, et qui, obstrués par les remblais et les constructions, ont, ou pris un cours souterrain comme le ruisseau de Montmartre sous l'Opéra, ou bien complètement perdu leur cours et s'épanchent dans le sol en se mêlant aux eaux de surface, comme à Ménilmontant (1).

## Boucliers.

La plus grande partie des travaux souterrains de la ligne n° 1 avait d'abord été prévue à l'aide de *boucliers*, dont l'emploi était du reste imposé.

A de rares exceptions près, ces engins n'ont donné lieu qu'à des mécomptes.

La plupart étaient destinés seulement à la construction de la voûte jusqu'à la ligne des naissances ou jusqu'à un niveau un peu inférieur; les piédroits étaient ensuite repris en sous-œuvre, et le radier exécuté après l'enlèvement du stross.

(1) Nous sommes redevables de tous les renseignements géologiques, qu'on rencontrera dans cette Étude, à M. Auguste Dollot, Ingénieur, Correspondant du Muséum, qui a été chargé par le Métropolitain de l'étude et du relevé de tous les terrains traversés et qui a ainsi groupé des documents pleins d'intérêt sur l'« infratopographie » de Paris.

Comme cet appareil est assez particulier et n'a, en somme été décrit d'une façon complète que dans des ouvrages spéciaux qui ne sont pas à la portée de tous(1), nous donnerons une description aussi exacte que possible de ceux qui ont été affectés aux deux premiers lots et qui seuls ont fourni le trajet total d'une façon à peu près satisfaisante.

Nous indiquerons ensuite, très sommairement et uniquement à titre documentaire, les différences de construction et de méthode qui caractérisaient les autres appareils.

Le bouclier en lui-même se compose d'une tôle de 18 mm d'épaisseur courbée suivant la forme elliptique exacte de l'extrados de la voûte à construire. Cette tôle descend, de chaque côté, d'une certaine quantité en dessous de la ligne des naissances; elle a en tout 7 m de longueur et présente ainsi l'aspect d'une véritable carapace extérieure métallique de la voûte.

Elle est soutenue et divisée en trois parties *ab*, *bc*, *cd* (*fig. 12*), par deux poutres armées métalliques AA' qui forment l'ossature de l'appareil ; ces poutres, également elliptiques, étaient formées de fers plats et cornières, rivés d'une part à l'enveloppe extérieure précédente, et, d'autre part, à une autre tôle de 15 mm formant revêtement intérieur. Elles étaient rendues solidaires par seize entretoises longitudinales *e*, *e*, *e* et leurs pieds étaient réunis par deux poutres horizontales *ii* faisant office de tirants.

Le bouclier est ainsi divisé en trois parties : l'une, à l'avant, *ab*, appelée « avant-bec », de 2,50 m de longueur, sert à abriter les ouvriers qui procèdent à l'abatage ; l'autre, à l'arrière, *cd*, nommée « arrière-bec », de 2,60 m de longueur, abrite les maçons qui construisent la voûte. Sur les deux tirants inférieurs, reliés par neuf longerons longitudinaux, est disposé un plancher en madriers qui supporte toute la machinerie destinée à l'avancement du bouclier (dynamos, pompes, appareils de manœuvre). Cet ensemble n'occupe toutefois que le centre de la section, et deux passages latéraux de 2,50 m de largeur sur 2 m de hauteur restent libres.

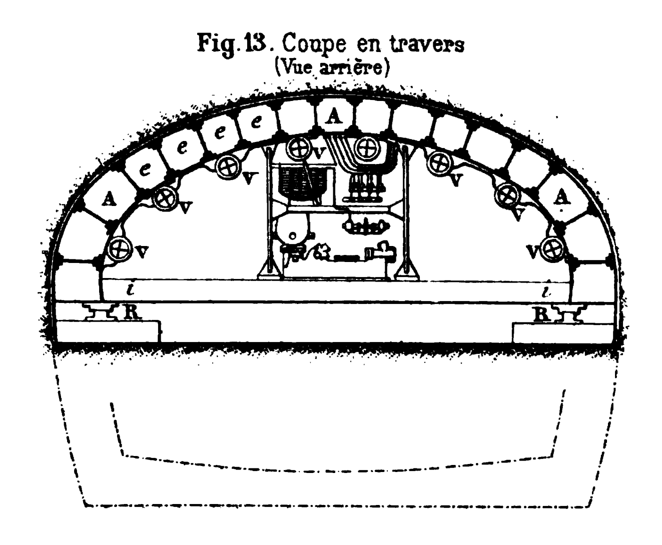
L'avancement du bouclier se fait à l'aide de vérins hydrauliques VV, au nombre de huit, fixés sur le périmètre intérieur de l'ossature (*fig. 12 et 13*).

Chaque vérin se compose en réalité de deux pistons hydrauli-

(1) Ouvrages de MM. R. Legouëz et René Philip, Ingénieurs des Ponts et Chaussées (Béranger, éd.).

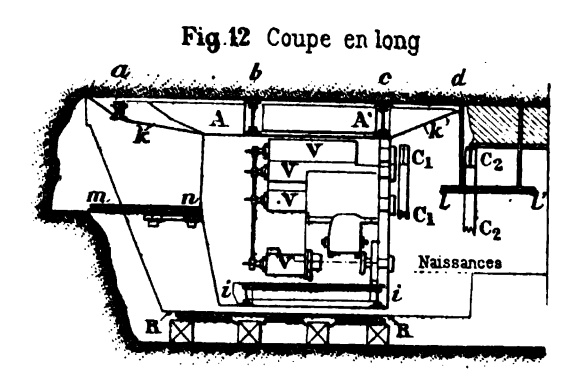
ques, l'un qui permet la progression du bouclier par poussée sur l'ensemble des cintres arrières, et l'autre, dit piston de rappel, qui sert à replacer le premier à sa position initiale quand la course est terminée.

Fig. 13. Coupe en travers (Vue arrière)




Derrière le bouclier, une série de 30 cintres en fer $C_1$, $C_2$..... espacés de mètre en mètre, soulagés chacun par deux « buttons » B en sapin de 20 cm d'équarrissage *(fig. 14.)*. Ces cin-

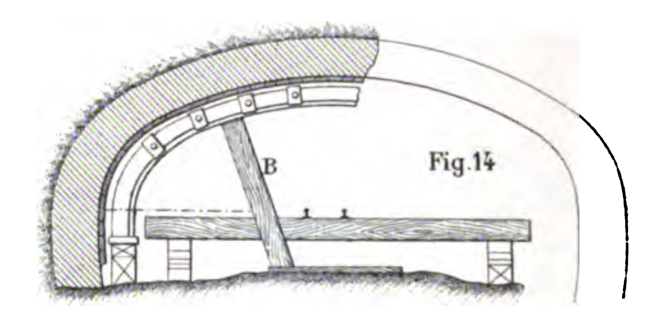
Fig. 12 Coupe en long



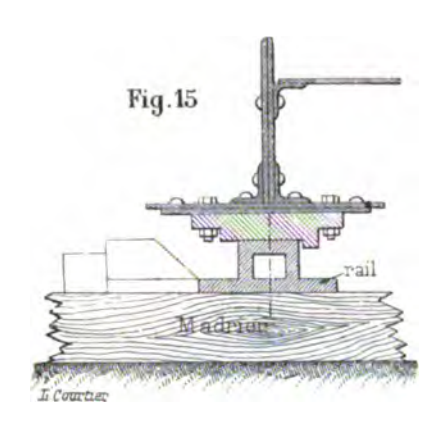

tres sont réunis entre eux par autant de lignes d'entretoises qu'il y a de vérins, entretoises placées précisément au niveau de chaque vérin et qui prennent appui sur des buttées en fonte boulonnées sur les cintres ; l'ensemble de ces cintres avec leurs 8 × 30 ou 240 entretoises et leurs 480 buttées forme une masse

absolument rigide sur laquelle vient se produire tout l'effort des vérins nécessité pour l'avancement.

Quant au point d'appui sur le sol, le bouclier y repose par l'in-




termédiaire de deux rails métalliques RR portés eux-mêmes sur des madriers assemblés à mi-bois placés bout à bout, et qu'on ajoute successivement en longueur suffisante avant chaque course *(fig. 15.)*.




L'avant-bec et l'arrière-bec en tôle sont supportés par une série de consoles *kk'* destinées à les consolider et à assurer leur parfaite rigidité. La tôle d'avant-bec, au lieu d'être taillée normalement à l'axe, est découpée en visière, de façon à produire un évasement très accentué de chaque côté ; celle d'arrière-bec est taillée normalement à l'axe, mais ne descend que jusqu'à la ligne des naissances, tandis que tout le reste de la tôle, corps et avant-bec, descend à 70 cm en dessous de cette ligne.

Dans les terrains ébouleux, on pouvait, à l'aide de cornières convenablement disposées à l'extrémité de l'avant-bec, faire glisser des palplanches pour procurer un surcroît d'abri aux ouvriers.

Le bouclier est assemblé à l'origine du souterrain qu'il doit creuser, dans une fosse *ad hoc* et de dimensions suffisantes pour qu'on puisse lui donner sa position absolument exacte.

Les deux boucliers employés dans le premier lot étaient iden-

tiques. Leur mode d'emploi seul a différé comme il sera indiqué plus loin.

Le piston plongeur avait 24 cm de diamètre, soit 450 cm² de surface. La pression pour l'avancement en condition normale a été de 60 à 80 kg par centimètre carré, soit un effort total de 220 à 275 t. La pompe pouvait produire 250 kg par centimètre carré, soit 110 t par vérin et 880 t pour l'ensemble; l'effort minimum fut de 40 kg seulement correspondant à 144 t pour les 8 vérins, et l'effort maximum ne dépassa jamais 500 t. La surface frottante de l'appareil, ou contact de la tôle avec les terrains d'extrados était de 70 m², d'où un effort moyen, par centimètre carré, de 0,31 kg. L'effort maximum aurait pu atteindre 1,20 kg, mais n'a jamais dépassé 0,65 kg. La dynamo était de 12 ch : sous 220 volts.

Les deux boucliers employés dans le premier lot eurent comme point de départ la Place de la Nation ; l'un se dirigea vers Vincennes, l'autre vers Reuilly.

Après une certaine période de préparation, on commença par effectuer 3 courses en 24 heures, et on arriva bientôt à 4 courses, chiffre auquel on se maintint jusqu'au bout. Chaque course était de 1 m, et s'effectuait en 16 minutes environ.

Le bouclier « Reuilly », mis en marche le 7 mars 1899, et qui se dirigeait vers cette station, arriva au but le 16 octobre. Il parcourut 710 m en 224 jours.

En déduisant 19 jours de repos et 120 heures correspondant à des périodes où on ne travaillait que la nuit, il reste 200 jours de travail effectif; soit 3,55 m d'avancement par jour.

Le bouclier « Vincennes » fut livré avec un retard de 90 jours qui obligea à commencer le travail sur boisages du côté de Vincennes, de telle sorte qu'il n'eut à parcourir que 464 m. Mis en marche le 28 mai 1899, il arriva à fin de course le 4 octobre, après 130 jours de marche.

En faisant le même calcul que précédemment, on arrive à un avancement de 3,87 m par jour, sensiblement supérieur à celui du bouclier « Reuilly ». Il est d'ailleurs à remarquer que contrairement à ce dernier, le bouclier « Vincennes » a fourni presque constamment 4 courses par jour. On estime qu'on aurait pu atteindre 5 courses, si des conditions de salaires n'étaient intervenues.

Tous les terrains rencontrés par ces deux boucliers étaient des remblais de sable tendre et de la marne blanche avec quelques caillasses; les outils à mains ont suffi partout.

Entre la maçonnerie et la tôle, on laissait environ 7 à 8 cm de vide qu'on bourrait avec du mortier aussitôt que l'avancement le permettait.

Toutefois, très souvent lors de l'avancement, dès que la tôle cessait de soutenir les terres au-dessus de la maçonnerie déjà faite, celles-ci s'éboulaient sur l'extrados de la voûte et rendaient les bourrages impossibles.

Des essais d'injection de mortier sous pression ne donnèrent aucun bon résultat, le mortier gagnant par des fissures des endroits où il s'amassait sans aucune utilité.

Malgré les précautions prises et la distance de 1,80 m à 2,25 m qui séparait le bouclier de la chaussée, l'espoir de mener le travail à bonne fin sans dislocation de cette dernière fut complètement déçu, et des tassements atteignant quelquefois 80 cm obligèrent, dès les premières courses, à interdire la circulation des voitures. Au point de vue du tracé, il n'y eut guère qu'une seule déformation du bouclier qui fut rapidement remis en place par une manœuvre convenable de certains vérins. Enfin, au mois de mai, on prit le parti de couper les tôles d'arrière-bec du bouclier « Reuilly » à 70 cm au-dessus des naissances, ce qui permit de bloquer beaucoup plus la maçonnerie contre le sol, et supprima de légères fissures de la voûte qu'on avait remarquées précédemment.

Le bouclier « Vincennes », mis en marche après cette amélioration, fonctionna toujours avec son arrière-bec ainsi coupé.

Une usine électrique, installée Place de la Nation, assurait tous les services de ces deux boucliers et de leurs chantiers au moyen de moteurs à gaz d'ensemble 180 ch et de 4 dynamos d'ensemble 160 ch. La traction des wagons servant à l'extraction des déblais se faisait par trolley au moyen de 3 trains de 8 wagons par heure, remorqués par des tracteurs électriques.

L'éclairage des chantiers était assuré par 400 lampes à incandescence et 12 lampes à arc.

Le total des déblais extraits par mètre courant du souterrain était de 70 m$^3$, correspondant à un foisonnement moyen de 40 0/0.

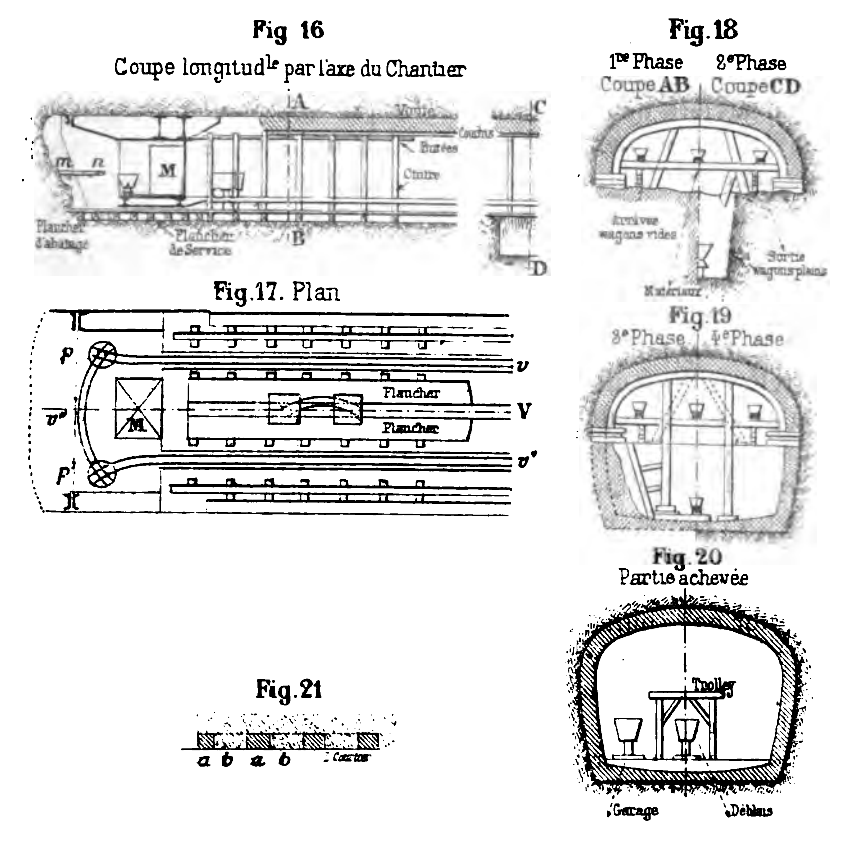
La section relative au bouclier étant de 26 m$^2$ contre 50 m$^2$ qui représentaient celle totale du souterrain, l'extraction par mètre d'avancement du bouclier seul était de 37 m$^3$.

Il ne nous reste maintenant qu'à indiquer les différences capi-

tales qui existaient dans la disposition et dans le mode d'avancement des deux chantiers.

### I. — Bouclier Reuilly.

La chambre de travail sous l'avant-bec était divisée par un plancher *mn*, en deux parties dans chacune desquelles travaillait une équipe *(fig. 12 et 16.)*. Sur les deux espaces latéraux laissés




libres par la machinerie M, passaient deux voies *vv'*, réunies en avant à une voie tranversale v″ par deux plaques tournantes *pp'*, et qui se prolongeaient en arrière jusqu'après les dernières lignes de cintres *(fig. 17.)*. Les wagons vides arrivaient par la droite, recevaient leur chargement sur la voie transversale et repartaient par la gauche ; quant aux matériaux, ils étaient amenés par une voie centrale V qui passait entre les buttons supportant les cintres, et arrivaient ainsi sous le plancher des ma-

çons *ll'* situé sous l'arrière-bec *(fig. 12.)*. Ils devaient être élevés à hauteur du plancher, soit à la main, soit par des moyens mécaniques.

A partir des derniers cintres arrière, était pratiquée une cunette centrale, de 2,20 m de large, creusée à même le stross, et au fond de laquelle était établi un service de wagons où on jetait, à l'aide de trémies, les déblais amenés par les wagonnets qui circulaient sur les planchers de service.

Ces planchers étaient démontés au fur et à mesure à l'arrière et reportés à l'avant, ce qui constituait une main-d'œuvre difficultueuse et chère.

En arrière de l'espace nécessité par ces manœuvres, on déblayait directement le stross, en laissant sous les naissances de la voûte un talus qui, suivant les terrains, était plus ou moins incliné, avec ou sans étais *(fig. 18 et 19)*.

On effectuait alors la reprise en sous-œuvre des piédroits et la construction du radier, par anneaux *aa* de 2 m de largeur avec, entre chaque anneau, un intervalle *bb* de 4 m *(fig. 19 et 21)*; lorsque la maçonnerie de ces anneaux était suffisamment prise, on effectuait les fouilles des anneaux intermédiaires, et on les construisait à leur tour. Dans la partie terminée *(fig. 20)*, il n'y avait plus que la voie centrale qui conduisait les déblais jusqu'à leur point d'extraction; cette voie était naturellement semée de voies de garage, et la traction s'y effectuait en général par trolley et tracteur électrique.

Quand l'abatage était suffisant à l'avant du bouclier pour nécessiter une course de 1 m, on démontait le dernier cintre arrière, on le remontait derrière l'arrière-bec, on plaçait les entretoises, on préparait le chemin de glissement, et il n'y avait plus qu'à mettre la pression sur les vérins.

Les maçons, abrités par l'arrière-bec, construisaient la voûte *en échelons* sur une longueur de 2 m, à l'aide d'échafaudages montées sur les trois premiers cintres. Une première équipe amorçait les piédroits, une seconde construisait les retombées de la voûte, et une troisième effectuait la partie médiane.

Le plancher ll' *(fig. 12)* sur lequel travaillaient les maçons était suspendu à la voûte, et on devait le démonter à chaque course pour placer le nouveau cintre, d'où une certaine perte de temps.

II. — Bouclier Vincennes.

La méthode employée était toute différente.

Une galerie inférieure GG′ (*fig. 22 et 23*), dont la base est au niveau du radier, précède le bouclier de 80 m environ; elle

Fig.22. Coupe longitudinale par l'axe du chantier

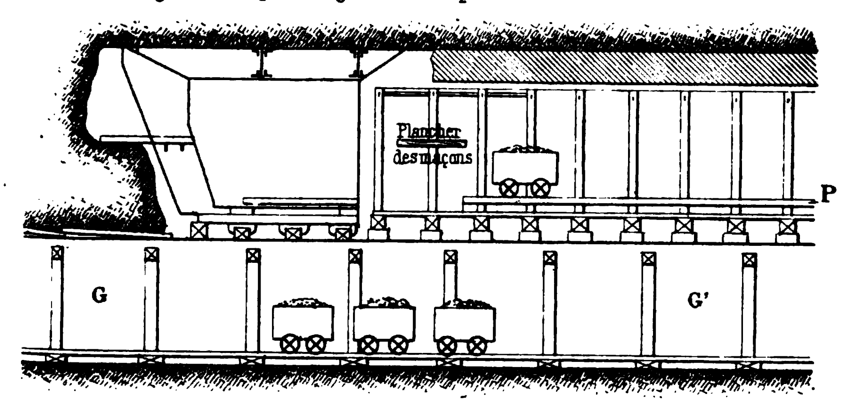
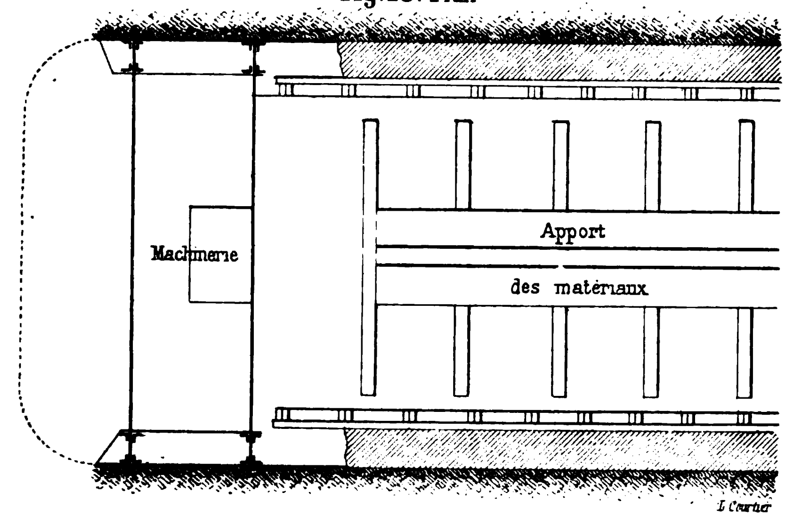



Fig.23. Plan




servait à reconnaître les terrains, à diriger l'avancement, et à enlever rapidement les déblais; on pratiquait une ouverture dans le plafond de cette galerie, sous l'avant-bec du bouclier, et les ouvriers de la chambre d'abatage jetaient directement leurs déblais dans des wagons circulant sur la voie placée au fond de

la galerie en question, les wagons vides venant sans intermittence prendre la place des wagons pleins.

Il n'y avait donc plus de voies latérales, comme dans le cas précédent, pour la circulation des déblais, et l'apport des matériaux se faisait à l'aide d'un plancher P reposant sur le plafond de la galerie.

Les cintres avaient été renforcés de façon à pouvoir supprimer les buttons de support et faciliter par conséquent la circulation ; le reste de la manœuvre s'effectuait comme pour le premier bouclier, mais tous les points reconnus défectueux avaient été, comme on le voit, supprimés, et ce chantier fonctionnait dans des conditions remarquables de rapidité et de régularité.

Il y avait, de plus, une certaine économie de main-d'œuvre.

Le nombre total d'ouvriers nécessaires pour chacun de ces boucliers marchant d'une façon ininterrompue était de 450, divisés en deux équipes.

En résumé, ces deux appareils fonctionnèrent d'une façon satisfaisante et n'exigèrent aucune réparation sérieuse, pas plus du reste que l'ensemble des cintres.

Deux boucliers, type « Vincennes », étaient prévus pour les huitième et onzième lots; toutefois, la chambre d'abatage n'était pas divisée en deux étages, et le plancher des maçons présentait l'avantage d'être invariablement relié au plancher central.

### III. — Boucliers des deuxième et troisième lots.

Dans ces boucliers, le chemin d'avancement était formé de fers plats, placés sur des poutrelles en chêne transversales. Les vérins prenaient appui sur un ensemble de vingt cintres en bois surmontés d'un léger cintre en fer, reliés par des longerons, entretoisés, boulonnés et renforcés par des consoles en fer.

Les poutres formant l'ossature du bouclier arrivaient à 1,50 m en dessous des naissances; entre leur surface extérieure et l'extrados du souterrain, on pouvait construire la partie haute des piédroits, au fur et à mesure de l'avancement.

La voûte était exécutée par *anneaux complets* de 0,90 m de largeur seulement, à l'abri de la tôle arrière. Les piédroits étaient plus tard terminés en sous-œuvre par les procédés ordinaires. Cet appareil avait pour principal défaut d'être très instable. De plus, les charpentes en bois résistèrent mal à la poussée des vérins, car, la voûte étant faite en une seule pièce, la maçonnerie se tenait d'elle-même, et ne venait pas, comme dans les boucliers

Reuilly et Vincennes, appuyer de tout son poids sur l'ensemble des cintres, et leur donner ainsi la stabilité voulue.

IV. — Boucliers du quatrième lot.

Contrairement aux précédents, ces deux boucliers devaient prendre leur appui pour l'avancement sur les piédroits construits à l'avance, et sur lesquels étaient directement établis les chemins de roulement.

L'appui des vérins était formé par une série de cintres métalliques entretoisés, soutenus par une charpente en bois dont la base était encastrée dans la maçonnerie des piédroits. Cette disposition donna, au point de vue résistance, un assez bon résultat.

On avait projeté de faire la voûte en béton comprimé, entre la tôle de queue du bouclier et les couchis en bois placés sur les cintres.

Huit vérins servaient à la progression de l'appareil, et dix devaient servir à la compression du béton.

Dès le début, on renonça complètement à ce système, l'expérience ayant échoué complètement. Le béton serré contre la tôle était, en effet, entraîné par elle lors de l'avancement, ou s'opposait à la marche. De plus, comme l'arrière-bec était trop court pour maçonner à son abri, on se décida à ouvrir dans la chaussée une tranchée de 4 m de largeur suivant l'axe, et le bouclier ne servit plus qu'à soutenir les flancs de la voûte.

V. — Boucliers des sixième et septième lots.

Ces deux boucliers glissaient sur un véritable plancher formé de poutres transversales et longitudinales; les vérins prenaient appui sur vingt cintres, en bois blanc d'abord, en chêne ensuite, entretoisés, avec buttons de support. Ils ne permettaient également l'exécution que d'un anneau complet de maçonnerie à la fois, avec les inconvénients inhérents à cette disposition.

Les piédroits étaient construits au préalable, dans le bouclier même, jusqu'à 1 m au-dessous des naissances.

En résumé, tous ces boucliers s'arrêtèrent pour des causes diverses, après un service relativement très court.

Du reste, tout en laissant à de plus compétents le soin d'élucider ces questions, nous croyons que l'insuccès est dû, d'une façon générale, à l'instabilité du chemin de roulement, et c'est, malheureusement, un des points qu'il est le plus difficile d'améliorer.

# LIGNE N° 1

## **Profil géologique** *(Pl. 105)*.

La ligne n° 1 débute à la Porte-Maillot dans le calcaire grossier supérieur et pénètre dans les sables de Beauchamps, dans toute sa hauteur, sous la place de l'Étoile; elle quitte ces sables affaissés par gradins, avenue des Champs-Elysées.

Elle reste dans les alluvions anciennes de la Seine, sables et graviers, surmontés de remblais plus ou moins épais, jusqu'à la gare de Lyon, après avoir touché, en quelques points infléchis pour passer sous les collecteurs, le calcaire grossier supérieur.

De la gare de Lyon à la place de la Nation, le sol traversé n'est pas stratifié ; il est formé de tous les terrains mélangés, supérieurs au travertin de Saint-Ouen, y compris les sables de Fontainebleau.

Sous la place de la Nation, les sables verts infragypseux ondulent sur moitié de la hauteur du souterrain, et sont recouverts par les terrains mélangés. Il restent assez rapprochés du radier, dans le Cours de Vincennes où ils sont surmontés de quelques couches stratifiées, puis d'un mélange de marnes, calcaires argiles et sables.

On a rencontré dans les alluvions graveleuses de la Seine des lentilles plus ou moins étendues, d'environ 0,30 m à 0,50 m d'épaisseur, composées de galets siliceux agglomérés par un ciment calcaire ou siliceux, formant un béton naturel très dur que les ouvriers nomment « calcin »

On a trouvé également dans les alluvions, place de la Concorde, un filet de bioxyde de manganèse qu'on rencontre d'une façon générale à ce niveau.

La nappe d'eau a été rencontrée aux cotes suivantes :

| | |
|---|---|
| Place de la Concorde . . . . . . . . . | 25,42 |
| Boulevard de Sébastopol. . . . . . . . | 26,58 |
| Gare de Lyon . . . . . . . . . . . . | 25,90 |
| L'altitude moyenne de la Seine étant de | 27,20 |

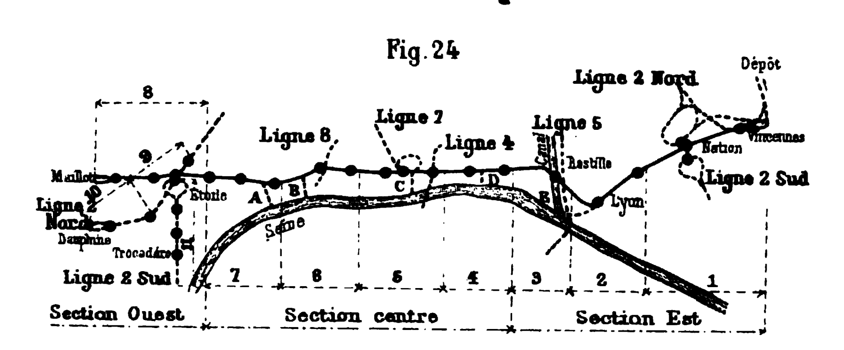
## Renseignements généraux.

La ligne n° 1 part de la Porte de Vincennes pour aboutir à la Porte-Maillot; elle est pour ainsi dire en ligne droite sur tout son parcours, sauf un fort crochet entre la station de Reuilly et celle de la Bastille, pour lui permettre de desservir la gare de Lyon. Le profil en long est donné *(Pl. 104)* et le plan général *(fig. 24)*.

Elle est entièrement en souterrain, à l'exception de la station « Bastille ».

Elle rencontrera sur son parcours les autres lignes métropolitaines aux points indiqués sur le plan. On y trouvera également la division en sections et lots pour l'exécution des travaux. Les tableaux-annexes donnent les dépenses, ainsi que les noms des Ingénieurs et des Entrepreneurs.

Fig. 24




Du reste, sans nous préoccuper outre mesure de ce lotissement, nous décrirons les travaux intéressants au fur et à mesure que nous les rencontrerons.

Primitivement, on n'avait admis pour chaque lot qu'un seul chantier d'attaque, mais on a dû autoriser successivement 22 points d'attaque secondaires, reconnus indispensables pour faciliter l'exécution, soit 33 attaques pour 15 km de long.

Les lots 3, 4, 5, 6, 7 ont été desservis par des galeries spéciales dont nous dirons quelques mots plus loin.

Le deuxième lot a été desservi par un appontement établi quai de la Rapée; mais pour les lots 1, 8, 9, 10 et 11, on a dû procéder à l'enlèvement des déblais et à l'apport des matériaux à l'aide de transports superficiels, soit par tombereaux, soit par l'utilisation de certaines lignes de tramways.

Le total des déblais à enlever était d'environ 850000 m³ et celui des matériaux à apporter de 310000 m³.

Presque toutes les maçonneries ont été exécutées en béton de ciment, en meulière ou en pierres de Souppes; très rarement en moellon dur et en briques.

Le cahier des charges comportait, pour les entrepreneurs, l'obligation de se servir de boucliers.

On comptait ainsi procéder avec plus de régularité et foncer le souterrain sous les chaussées, sans déformation gênante de ces dernières.

Il en est résulté les types les plus divers de ces appareils.

Le succès, comme on l'a vu, n'a pas couronné ces efforts, et la plupart des boucliers se sont arrêtés en chemin ou n'ont pas fonctionné du tout.

Partout où le bouclier faisait défaut ou n'allait pas assez vite, les entrepreneurs qui étaient astreints, sous des pénalités très rigoureuses, à des délais très courts, ne prenaient même pas la peine de chercher à remédier au mal; ils revenaient aussitôt aux méthodes habituelles de boisages, avec des variantes très judicieusement adaptées aux diverses circonstances.

On ne rencontrera du reste aucun bouclier dans l'exécution des lignes n° 2 Nord, n° 2 Sud et n° 3, et c'est seulement sur un tronçon de la ligne n° 6 qu'on tente actuellement un nouvel essai d'un bouclier perfectionné.

Dans certains cas seulement, assez rares du reste, on a travaillé à ciel ouvert, soit pour l'établissement des stations et des parties de souterrain à plancher métallique, soit lorsqu'on a construit la voûte directement sur cintre en terre.

D'une façon générale et sauf exceptions, on a commencé le souterrain courant par la construction de la voûte jusqu'à une certaine distance sous les naissances; on a repris les piédroits en sous-œuvre, enlevé le stross et, enfin, construit le radier.

Pour les stations, au contraire, qui ont une section beaucoup plus vaste, on a commencé, la plupart du temps, à construire en galerie les culées des stations voûtées et les piédroits des stations à tablier métallique; on a ensuite établi la voûte soit sur boisages, soit sur cintre en terre, ou posé le tablier, et on a procédé, en dernier lieu, à l'enlèvement du stross et à la confection du radier.

Au point de vue de l'évacuation des déblais et de l'apport des matériaux, l'emploi des tombereaux qu'on n'a pu éviter dans certains cas, mais qui, généralisé, aurait pu donner lieu à des diffi-

cultés énormes pour la circulation, a été remplacé chaque fois qu'on l'a pu par des galeries d'évacuation vers la Seine.

Ces galeries indiquées (fig. 24) par les lettres A, B, C, D, E, ont nécessité des travaux assez considérables, puisque leurs longueurs sont respectivement de 220, 246, 212 et 436 m; leur établissement n'a pas coûté moins de 400 000 f, et elles ont servi à évacuer pour les lots 4, 5, 6 et 7 compris entre Saint-Paul et l'Étoile, près de 270 000 m³ de déblais et à apporter près de 80 000 m³ de matériaux.

Elles aboutissaient à des estacades construites sur pilotis au bord de la Seine et qui servaient à déverser directement dans des bateaux les déblais apportés par les wagons.

L'apport des matériaux se faisait de façon inverse et par les mêmes moyens.

Pour le troisième lot, on a profité de la proximité du canal Saint-Martin et on a construit une galerie spéciale qui a été desservie par cette voie.

### Travaux Préparatoires. — Remaniement des Égouts, Conduites d'Eaux et Canalisations diverses.

La ligne n° 1 rencontre six collecteurs principaux : elle passe sous celui des Coteaux, à l'intersection du boulevard Diderot et de la rue Crozatier; sous le collecteur Sébastopol, à la traversée du boulevard Sébastopol; et sous le collecteur d'Asnières, place de la Concorde. Le collecteur Marceau, place de l'Étoile, a, au contraire, été franchi par dessus.

On n'a donc touché à aucun de ces grands ouvrages, mais leur traversée a donné lieu à des précautions multiples.

Quant au collecteur Rivoli, il se trouvait situé, depuis la rue Bourg-Tibourg jusqu'à la Concorde, en plein dans l'axe du tunnel projeté.

Le premier tracé à voie étroite du Métropolitain aurait permis de passer entre ce collecteur et les maisons riveraines, mais l'adoption de la voie de 1,44 m. a obligé de placer le souterrain dans l'axe de la rue de Rivoli et de supprimer par conséquent le collecteur.

Il a été remplacé par trois égouts principaux d'un développement de 600 m, 1 600 m et 780 m.

Indépendamment d'une série d'égouts secondaires qui ont été construits pour combler les lacunes de ce tracé général, il a

fallu en outre remanier, d'une façon presque complète, les conduites d'eau et d'air comprimé, les tubes pneumatiques, les fils télégraphiques et téléphoniques, et autres canalisations qui se trouvaient également à l'intérieur des égouts supprimés et qu'on a dû reporter dans les égouts nouveaux avec toutes les difficultés inhérentes à ces sortes de travaux.

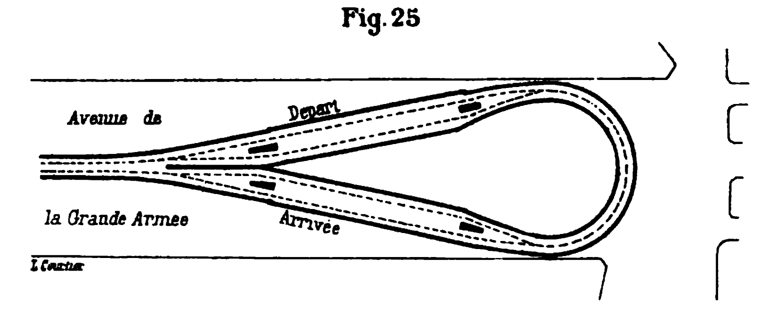
## Description détaillée des travaux de la ligne n° 1

ET DES AMORCES ÉTOILE-DAUPHINE (LIGNE N° 2 NORD) ET ÉTOILE-TROCADÉRO (LIGNE N° 2 SUD). (1)

Nous décrirons les différents travaux auxquels a donné lieu l'établissement de la ligne n° 1, en allant de la gare de Vincennes vers celle de la porte Maillot; nous y comprendrons, chaque fois que cela nous semblera logique, les ouvrages nécessités par les traversées ou par la juxtaposition des autres lignes, qu'ils aient été exécutés ou non en même temps.

La station terminus de Vincennes, identique à celle de Maillot *(fig. 25)* est une gare en boucle. Elle comprend une station

Fig. 25




d'arrivée et une de départ, réunies par la boucle à une voie, et est établie dans des remblais de mauvaise tenue atteignant jusqu'à 7 m d'épaisseur.

Le souterrain y a été exécuté en galerie boisée, en prenant de minutieuses précautions.

Les culées et la voûte des deux stations ont été construites à ciel ouvert.

La voûte a été établie sur un cintre taillé dans la terre natu-

(1) Nous avons emprunté nos renseignements sur les lignes n° 1 et n° 2 Nord au livre très documenté que M. Hervieu, Secrétaire général des Bureaux techniques du Métropolitain, a publié sur ce sujet. (Béranger, éd.).

relle préalablement nivelée, recouverte d'un enduit en plâtre de 3 cm. Ces stations comportaient, en effet, comme revêtement intérieur, des briques creuses émaillées, qu'on a posées directement sur ce moule en plâtre, certaines faisant harpe à l'intérieur pour bien assurer la liaison avec la maçonnerie, qui suivait à 24 heures de distance. Les briques creuses étaient traversées par des fils de fer, qui venaient se fixer dans la maçonnerie, et assuraient ainsi leur adhérence jusqu'à la prise complète du mortier.

Après l'achèvement des culées et de la voûte, on enleva tout le stross intérieur, et on procéda à l'exécution du radier.

Les parties en souterrain entre cette boucle terminus et la place de la Nation, à part 247 m construits sur boisages, ont été exécutées à l'aide du bouclier dit « Vincennes », dont nous avons parlé en détail d'autre part.

Enfin, une galerie de garage à quatre voies longe le souterrain entre ces deux points, et communique ainsi que la boucle, à l'aide d'un triangle, avec une voie spéciale qui conduit, par une rampe assez rapide, au dépôt et aux ateliers de matériel de la Compagnie concessionnaire, situés rue des Maraîchers *(fig. 56)*.

La station de la Nation, qui est établie sur courbe de 200 m, a été construite identiquement comme la station terminus de Vincennes.

A partir de ce point, la portion en souterrain courant de 747 m qui la sépare de la station de Reuilly a été faite intégralement à l'aide du bouclier dit « Reuilly » décrit d'autre part.

C'est le seul exemple d'un bouclier accomplissant tout le parcours prévu.

Le terrain rencontré dans tous ces travaux était excellent, sauf vers la station de Reuilly, où l'on trouve du sable aggloméré, ou « calcin », extrêmement dur, et dont l'extraction retarda les travaux.

La station de Reuilly est une station voûtée, pour laquelle on a construit d'abord les culées en galerie, avec amorces de la voûte sur 1,80 m de chaque côté; le surplus de la voûte a été construit à ciel ouvert sur cintre en terre, par moitiés longitudinales successives, pour ne pas interrompre la circulation; le stross a été enlevé souterrainement. Le mur pignon qui sépare la station du souterrain courant est élevé sur pilotis.

Après la station de Reuilly, on rencontre un tronçon de souterrain de 695 m, précédant immédiatement l'important ouvrage

spécial de raccordement construit à l'entrée de la station « Gare de Lyon » en vue de la jonction des lignes n° 1 et 5. Le bouclier qui devait, en partant de cet ouvrage, servir à la construction du souterrain en remontant vers Reuilly, arrêté pour la reprise en sous-œuvre des colonnes du chemin de fer, n'effectua qu'un parcours de 40 m, et les 655 m restants furent exécutés par les méthodes ordinaires de boisages.

On rencontre ensuite l'ouvrage spécial, formé d'une culotte de

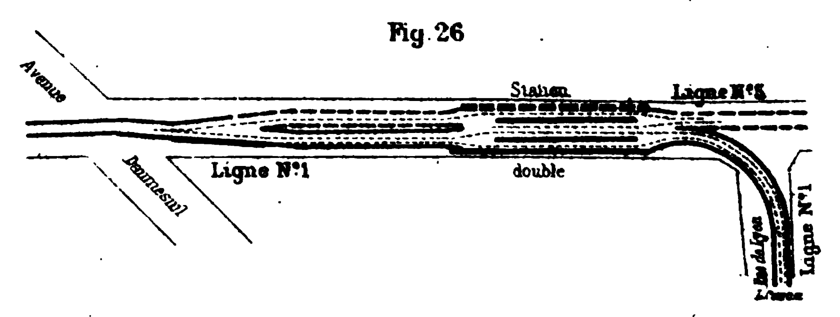
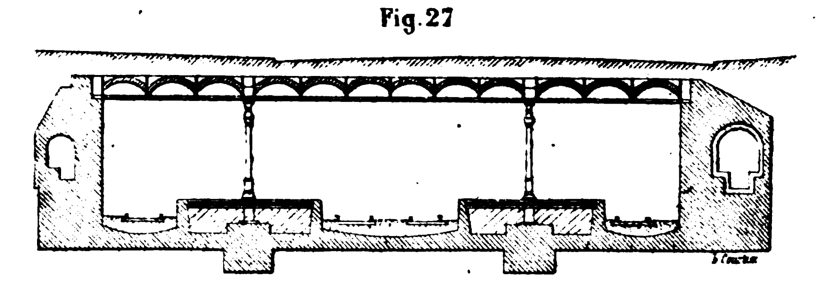


Fig.26

raccordement réunissant deux souterrains parallèles à deux voies, qui pénètrent tous deux dans la station (*fig.* 26); cette culotte de raccordement a été construite à ciel ouvert, sans difficulté, et est recouverte d'un tablier métallique.

La station de la gare de Lyon montrée en coupe transversale (*fig.* 27) a 100 m de longueur et 23,90 m de largeur. Elle


Fig.27

se compose, en somme, de deux stations accolées, dont chacune a un quai central de 6 m de largeur, et deux quais latéraux ordinaires. De chaque côté, passent les voies des lignes n° 1 et n° 5. Le tout est entièrement recouvert d'un tablier métallique comprenant trois travées, les points d'appui extrêmes étant formés par les piédroits, et ceux intermédiaires par des colonnes en fonte. Les deux extrémités de la station, où la portée était

moindre, étaient formées de simples poutres, reposant soit sur maçonnerie, soit sur supports métalliques.

Cette importante station a été construite entièrement à ciel ouvert. On a d'abord mis en place la travée de droite à l'aide d'un pont roulant prenant appui sur le sol de la tranchée; les deux autres travées ont été construites ensemble, le pont roulant s'appuyant d'une part sur le bord de la travée déjà posée, et d'autre part sur les piédroits opposés.

A partir de la gare de Lyon, on rentre dans le souterrain courant sur une longueur de 470 m sous la rue de Lyon. Une première partie, de 132 m, a été faite à ciel ouvert. Les 338 m suivants, sur boisages.

On trouve ensuite 270 m de souterrain construit, partie (169 m) avec le bouclier, partie (101 m) à l'aide de boisages ordinaires.

Les 105 m précédant immédiatement la station « Bastille » furent construits en tranchée recouverte d'un tablier métallique. Les piédroits ont été exécutés en galerie, et le tablier mis en place à ciel ouvert.

La nappe d'eau souterraine a été rencontrée à l'intersection de la rue Crozatier et du boulevard Diderot, et à l'intersection de l'avenue Ledru-Rollin et de la rue de Lyon, sur 1,65 m d'épaisseur pour le premier cas, et sur 3,39 m pour le second. On a épuisé l'eau à l'aide de pompes assurant un débit de 5,5 litres et de 40 litres par seconde.

Une fois le niveau abaissé, on a construit la maçonnerie par les moyens ordinaires; toutefois, comme dans tous les cas semblables, on a renforcé les piédroits et le radier, et on a intercalé dans l'épaisseur de la maçonnerie une chape en ciment de 0,04 m d'épaisseur; de plus, les doses du ciment dans le mortier et celles du mortier dans le béton ont été sensiblement augmentées.

En outre du chantier principal, situé sur les anciens terrains de Mazas, on faisait le service des déblais et des matériaux par deux autres chantiers secondaires, situés à la station de Reuilly et à la culotte de raccordement des lignes 1 et 5.

Les déblais provenant de ces divers travaux étaient chargés en tombereaux, conduits quai de la Rapée et enlevés par bateaux.

Nous arrivons ainsi à la station de la Bastille *(fig. 28)*.

A cet endroit, le tracé de la voie passait au-dessus du bassin de l'Arsenal, et le franchissait sur un pont à ciel ouvert; pour diminuer la portée de ce pont, on a rétréci le bassin à la largeur normale du canal, à l'aide de culées en maçonnerie sur lesquelles

on a établi le pont supportant la voie; mais on a dû, pour remplir l'espace *abc* qui se trouvait entre ce pont et l'ancien parapet de la place de la Bastille, construire un deuxième pont sous chaussée, sur lequel a été établie la station.

Le pont qui supporte la voie a 20 m de portée, et est formé par trois poutres principales doubles.

Le pont destiné à élargir la place de la Bastille est composé de huit poutres de 20 m de portée. Les maçonneries ne présentent d'intérêt que par leur importance.

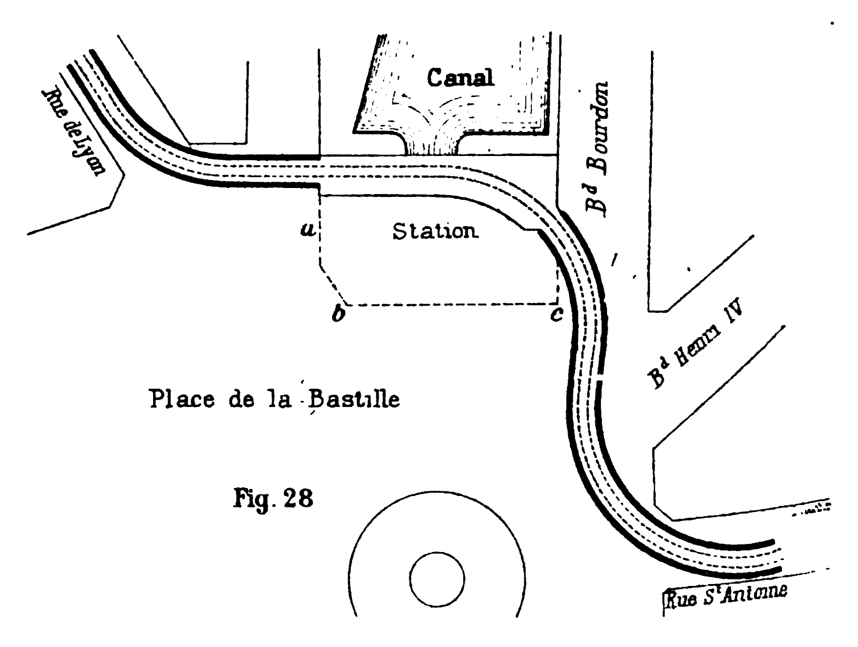



Fig. 28

En allant de la Bastille vers Saint-Paul, on trouve une partie en tranchée recouverte d'un tablier métallique de 70 m de longueur, identique à celle qui précède immédiatement cette station. Il y a lieu de signaler une très faible longueur de 5,45 m située du reste entièrement sous trottoir, que, vu l'insuffisance de hauteur, on a couverte à l'aide d'un plancher en ciment armé.

On trouve ensuite une longueur de 79 m avec un tracé sinueux passant à moins de 1 m de l'aplomb des maisons; on y a construit les piédroits en galerie avec les plus grandes précautions et par très petites portions à la fois. La chaussée a été ensuite ouverte en grand, et la voûte construite sur cintre formé par le sol lui-même.

Le souterrain se continue ensuite à partir de la rue Jacques-

Cœur, en type normal sur 333 m, et a été construit à l'aide d'un bouclier.

Les 200 m suivants jusqu'à la station Saint-Paul furent construits par les méthodes de boisage ordinaires.

Pour la station Saint-Paul, on a commencé par établir les culées en tranchées blindées, c'est-à-dire entièrement protégées par des planches, puis on construisit la voûte à ciel ouvert, sur cintre en terre, par moitiés longitudinales, en supprimant la circulation sur la moitié de la voie seulement.

On retombe ensuite dans le souterrain courant construit sans difficultés sur boisages en commençant par la voûte et avec reprise des piédroits en sous-œuvre. Rien de particulier n'est à signaler jusqu'à la Place Baudoyer où le collecteur Rivoli vient se placer à peu près dans l'axe du souterrain. On l'utilisera comme on le verra plus loin.

On arrive ainsi à la station Hôtel-de-Ville qui est du type courant à tablier métallique ; les piédroits placés sous les trottoirs furent construits en tranchées ouvertes, recouvertes d'un plancher pour la circulation des piétons.

La pose du tablier métallique nécessita l'ouverture de toute la chaussée à la fois, mais fut très rapidement conduite.

Les deux boucliers qui devaient partir chacun d'une extrémité de la station Hôtel-de-Ville et devaient fonctionner sur les piédroits construits d'avance comme chemin de roulement, et faire en même temps la voûte en béton comprimé, ont dû être abandonnés.

Un peu avant la station Hôtel-de-Ville, aboutit la galerie spéciale d'évacuation conduisant à l'estacade du quai de l'Hôtel-de-Ville sur lequel était également établie l'usine génératrice.

En outre du chantier principal d'extraction de la station Saint-Paul, on a établi des points d'extraction secondaires, square Saint-Jacques et rue des Halles.

Entre les stations Saint-Paul et Hôtel-de-Ville, on a rencontré une quantité de vieilles maçonneries qui ont gêné beaucoup les travaux. Il en a été de même entre l'Hôtel-de-Ville et le Châtelet.

Entre les rues Saint-Martin et des Halles, le profil s'abaisse pour passer sous le collecteur Sébastopol, et à ce point également, doit être ménagée la jonction future avec la ligne n° 4.

Le souterrain plonge en plein sable humide, reposant toutefois sur le calcaire grossier qu'on trouve jusqu'à hauteur des naissances de la voûte.

On a d'abord asséché le sable à l'aide d'un puits descendant jusqu'au-dessous du radier et dans lequel on épuisa constamment l'eau. Les travaux furent ensuite exécutés à sec sans incident, le souterrain étant renforcé et muni d'une chape en ciment.

On arrive ainsi à la station voûtée du Châtelet, suivie de 1 095 m de souterrain courant comprenant deux stations métalliques, celles du Louvre et du Palais-Royal.

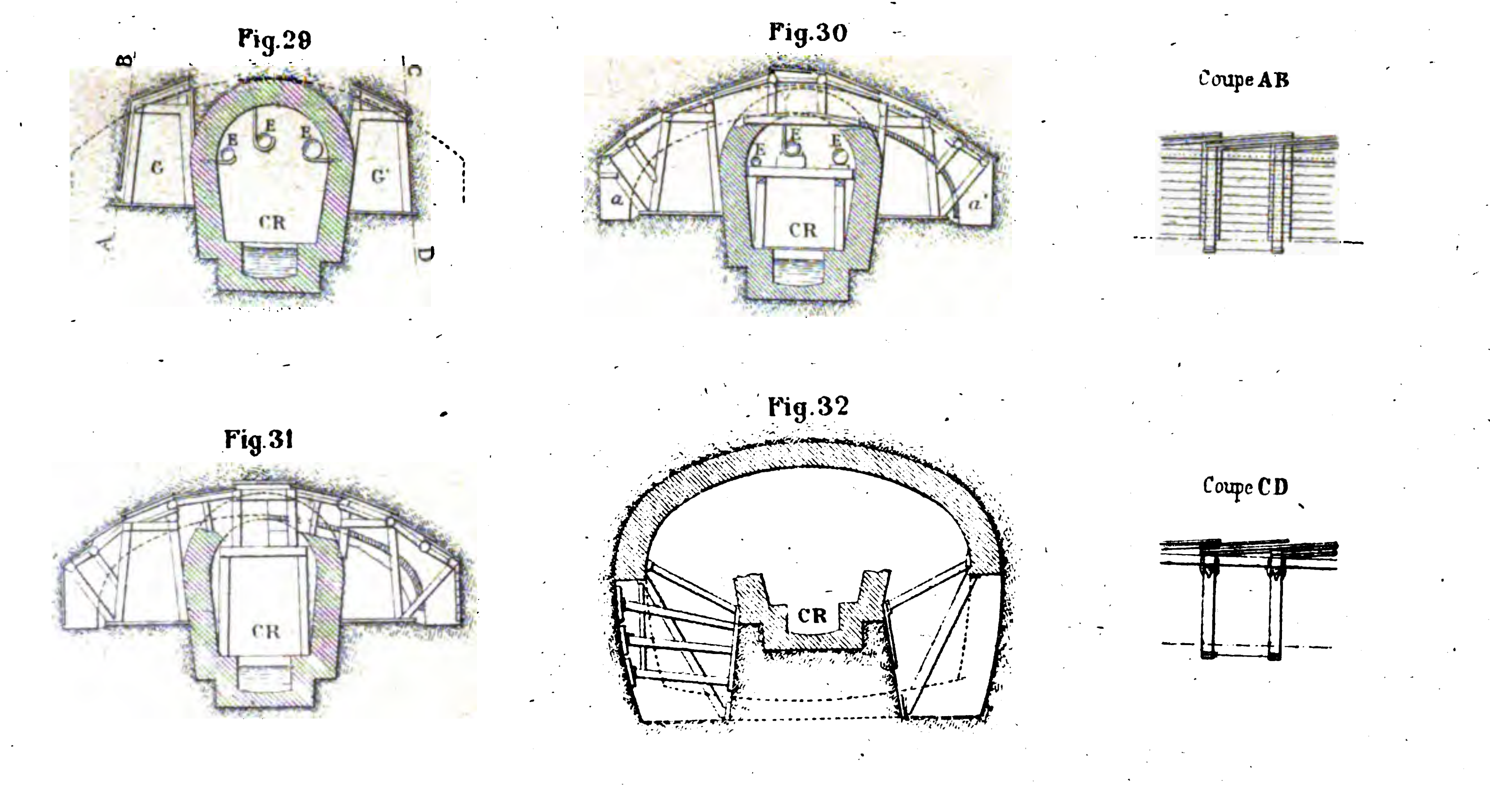
L'extraction principale se faisait par la galerie spéciale partant de la station du Louvre et aboutissant au quai. Deux autres attaques furent établies rues des Lavandières-Sainte-Opportune et Place Rivoli.

Le bouclier prévu n'a pu être utilisé, et tout le souterrain a été établi sur boisages. La présence du collecteur Rivoli dans l'axe de toute cette partie a facilité les travaux; on s'en est en effet servi comme d'une galerie d'avancement ouverte d'un bout à l'autre, et il rendit les plus grands services, bien qu'on ne pût y installer qu'une voie de 40 cm de largeur, avec wagonnets ne contenant qu'un tiers de mètre cube. Cette voie fut d'abord placée sur un plancher recouvrant la cunette qui resta en service pendant une partie des travaux.

La partie inférieure seule des ouvrages, jusqu'aux naissances, est dans les sables d'alluvions; la voûte est en plein remblai, composé exclusivement de gravats ébouleux qui atteignent jusqu'à 8 m vers le Châtelet.

On a rencontré, en outre, de nombreuses maçonneries du vieux Paris dont l'extraction a fourni près de 12 000 m$^3$, et qui ont d'ailleurs totalement disparu à partir de la Place du Palais-Royal.

Pour la construction du souterrain dans toute cette partie, on commença par la voûte, avec reprise des piédroits en sous-œuvre, et, en dernier lieu, exécution du radier après enlèvement du stross. On ouvrit deux galeries latérales GG' parallèles et contiguës au collecteur *(fig. 29)* avec parois blindées dans les gravats ébouleux (coupe AB), ou non blindées dans les bons terrains (coupe CD); les déblais étaient introduits dans le collecteur par des ouvertures pratiquées dans ses parois. Ces galeries latérales avaient exactement la forme de l'extrados, et chaque fois que la position relative du collecteur le permettait, on se servait de lui pour soutenir les cintres d'intrados. L'étroitesse du chantier ainsi disposé rendait toutefois souvent difficile la besogne des maçons.


Fig.29
B
C
E
E
E
G
G'
CR
A
D
Fig.30
E
E
E
a
a'
CR
Coupe AB
Fig.31
CR
Fig.32
CR
Coupe CD

Lorsque les deux voûtes se rapprochaient par trop, on faisait des saignées dans celle du collecteur pour la pose des cintres, et on fut même obligé, dans certains cas, de la démolir partiellement *(fig. 30 et 31)*.

Entre la rue de Rohan et la station des Tuileries, les conduites d'eau du collecteur Rivoli se trouvaient encore en charge; on les étaya provisoirement *(fig. 30)*, on démolit la voûte du collecteur et on procéda avec précaution comme précédemment.

Entre les rues du Louvre et du 29-Juillet, on put maintenir la circulation des voitures, bien que la hauteur entre la chaussée et l'extrados ne fut que de 1 m. Dans tous ces cas, la maçonnerie de la voûte était faite par anneaux de 2,60 m de longueur, derrière les abatages, à 25 m environ de l'avancement des galeries.

Le plan schématique *(fig. 33)*, montre le collecteur Rivoli

Fig. 33



en B, les galeries latérales en A, les abatages latéraux en C, les ouvertures dans les parois du collecteur en *a,a,a*; D, D', D", montrent la construction des anneaux successifs de la voute ; on voit enfin en E la voûte finie, et en F les barbacanes réservées pour injection ultérieure du ciment.

La voûte une fois terminée, on arrasa le collecteur au niveau des banquettes *(fig. 32)*, et les piédroits furent construits en sous-œuvre par parties de 4 m.

Pour la station du Châtelet *(fig. 34)* on creusa deux galeries latérales reliées au collecteur Rivoli CR par des galeries transversales, et épousant la forme des culées *aa'*. On exécuta celles-ci par travées de 3 ou 4 m jusqu'aux égouts latéraux EE' nouvellement construits. Les culées furent exécutées ainsi sur 78 m de longueur.

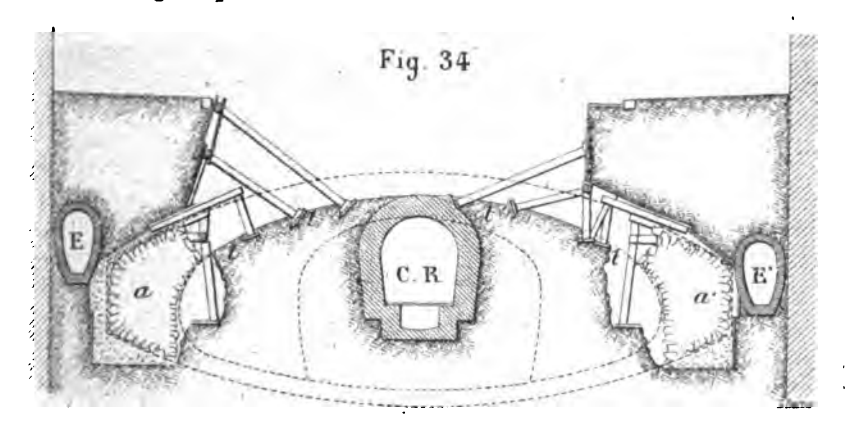
Toutefois, au moment d'établir la voûte, le terrain fut reconnu tellement ébouleux, qu'on la construisit à ciel ouvert sur cintre en terre, en ouvrant la chaussée et en soutenant les trottoirs par des parois blindées. On enleva ainsi en dix-sept jours 3 000 m³ de déblais et on exécuta 1 000 m³ de maçonnerie ; on déblaya ensuite le stross et on termina par le radier comme pour le souterrain.

Les deux stations métalliques du Louvre et du Palais-Royal ont été construites comme celle de l'Hôtel-de-Ville ; toutefois, on posait les poutres principales au nombre de treize par station et pesant 13,5 t chacune, dans des tranchées transversales creusées et remblayées de nuit. La rue ne fut barrée que pour la pose des entretoises et des voûtelettes.

Les stations Tuileries et Concorde sont des stations métalliques du type normal construites comme celle de l'Hôtel-de-Ville.

Entre les Tuileries et la Concorde, le sous-sol était composé de remblais.

Le bouclier qui avait été prévu pour la construction en souterrain fut gêné par des lentilles de caillasse très résistantes, les

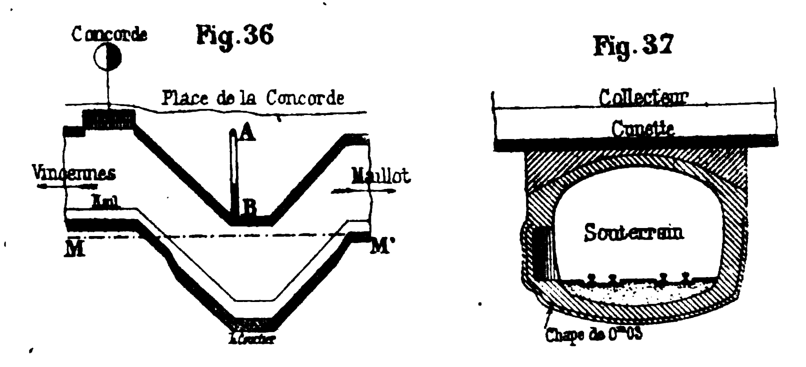



fondations des anciennes fortifications Louis XV et les sables aquifères ; tout le surplus du souterrain fut exécuté par les méthodes de boisages ordinaires.

La galerie spéciale construite sous la Place de la Concorde servait à évacuer les déblais vers la Seine.

La traversée de la Place de la Concorde est caractérisée par le passage sous le collecteur d'Asnières AB. Le fond de la fouille se trouvait à 5,82 m au-dessous de la nappe rencontrée à la cote 25,70, et le niveau du rail était à 11,43 m sous la chaussée *(fig. 36)*. On traversa des sables reposant sur des marnes comme au passage du collecteur Sébastopol et on employa le même moyen, c'est-à-dire l'abaissement de la nappe par épuisement de 6 à 19 litres par seconde. Comme on ne pouvait pas supprimer le passage de l'eau dans le collecteur et qu'on craignait des accidents par suite de fissures à la cunette, on établit dans le collecteur même deux bâtardeaux en amont et en aval de la traversée,

et on les relia par des tuyaux de tôle suffisants pour assurer l'écoulement de l'eau. La cunette étant ainsi à sec, on franchit le collecteur sans incident. Les maçonneries des 2 ouvrages se rejoignaient du reste comme l'indique la coupe transversale (*fig. 37*).




Le restant du souterrain, entre la station des Tuileries et l'avenue Alexandre III, sur environ 1 236 m, fut construit sans difficulté, sauf abaissement du plan d'eau sur une certaine longueur.

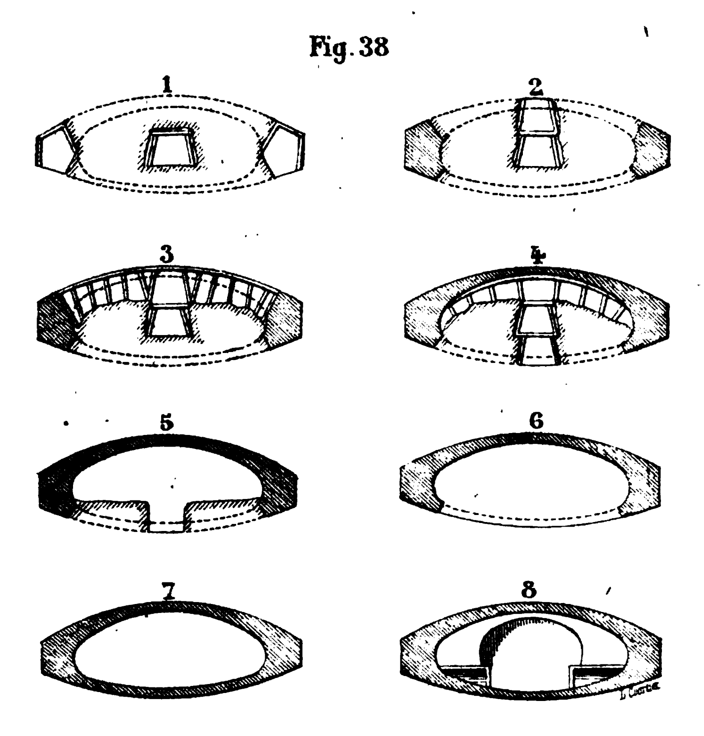
Peu après l'avenue Alexandre III, on rencontre la station à tablier métallique des Champs-Élysées qui, étant donnée sa situation, a été couverte entièrement à ciel ouvert après exécution des piédroits en galerie. Une partie du stross fut également enlevée à ciel ouvert.

L'extraction des déblais de cette partie se fit par la galerie spéciale partant du Rond-Point des Champs-Élysées et aboutissant sur les quais par l'ancien tunnel établi pour la construction des Palais de l'Exposition. On ouvrit, de plus, trois chantiers d'extraction intermédiaires. A partir du Rond-Point des Champs-Élysées, on se trouve dans d'anciens remblais de bonne tenue et, à l'Alma, on pénètre dans les sables de Beauchamps, conditions, par conséquent, partout excellentes.

A partir du Rond-Point, on dirigea une attaque vers la Concorde par les méthodes ordinaires et une autre vers l'Étoile, à l'aide d'un bouclier, qui s'arrêta à la station Marbeuf. Le souterrain, entre Marbeuf et l'Alma, a été construit sur boisages, sans particularités. La station Marbeuf, comme celle de l'Alma, est voûtée. Elles furent construites d'une façon assez spéciale ainsi, du reste, que la station Obligado qu'on rencontrera plus loin.

On a d'abord établi les culées par galeries jusqu'à 50 cm au-dessous des naissances; les galeries épousaient exactement la

forme des culées et il suffisait, par conséquent, de les remplir de maçonnerie; ceci fait, on procéda par galeries centrales supérieure et inférieure, pour l'évacuation des déblais, abatages latéraux, maçonnerie de la voûte, reprise des piédroits,




radier. On voit *(fig. 38)*, en coupes transversales, la succession de ces travaux.

La longueur du souterrain, entre l'avenue Alexandre III et la station de l'Alma, où nous venons d'arriver, est de 1 176 m.

Après une petite portion en souterrain du type courant, nous arrivons aux ouvrages considérables de la place de l'Étoile *(fig. 39)*, qui comprennent non seulement la traversée de la ligne n° 1, mais encore l'amorce Étoile-Dauphine qui sera le premier tronçon de la ligne n° 2 Nord; l'amorce Étoile-Trocadéro qui sera le premier tronçon de la ligne n° 2 Sud, la boucle terminus de cette dernière ligne, les raccordements de ces diverses lignes entre elles et, enfin, les ouvrages nécessités par l'installation de la sous-station électrique. Ils ont, du reste, été facilités par un excellent terrain.

Le principal point d'attaque de ce chantier était un puits situé

à l'origine de l'avenue de la Grande-Armée. Un deuxième avait été foncé de l'autre côté de la place, près l'avenue de Galilée.

Les déblais provenant de ces ouvrages et d'une partie des souterrains adjacents, étaient conduits dans d'anciennes carrières à Nanterre, les uns par tombereaux et les autres par la ligne de tramways de Paris-Saint-Germain.

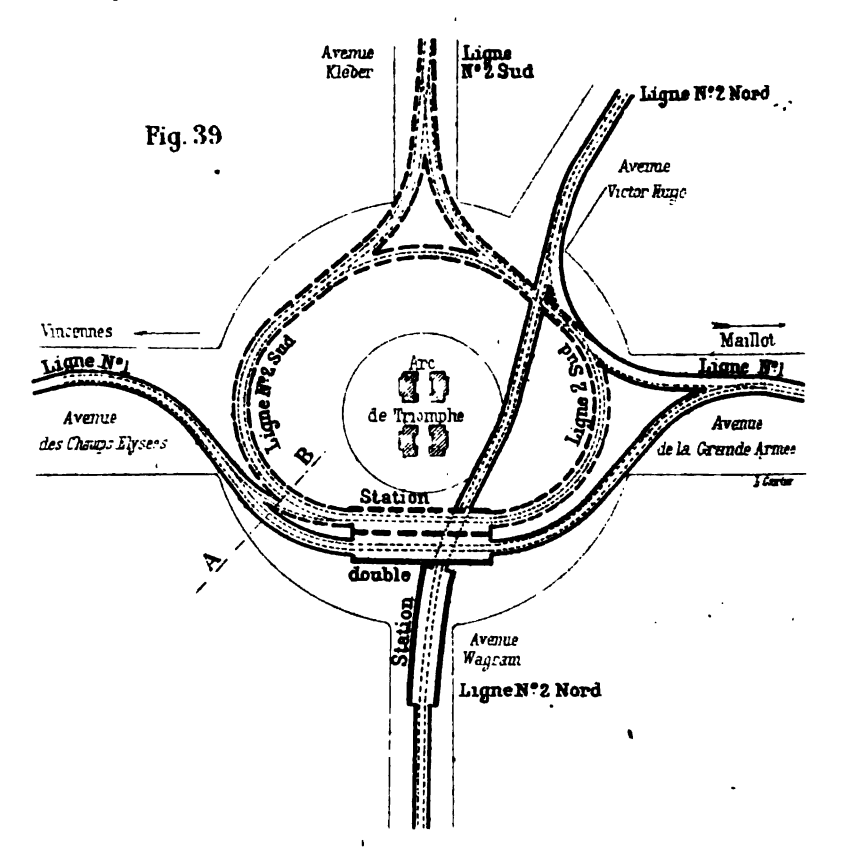


Fig. 39

Le souterrain, entre l'entrée de la place et le raccordement de tête, n'a donné lieu à aucune particularité.

L'ouvrage qui sert à raccorder les lignes n° 1 et n° 2 Sud est formé de deux voûtes accolées ayant respectivement **12,50** m et 7.45 m de portée. On le voit en plan *(fig. 40)*.

Dans le sens transversal, il présente cette particularité que les positions des voûtes sont interverties de l'une à l'autre moitié *(fig. 41)*, ce qui laisse au centre une baie ogivale R pouvant donner passage à la voie de raccordement qui réunit la ligne n° 1 à la boucle terminus de la ligne n° 2 Sud. Cette interversion se

produit exactement suivant un plan vertical passant par AB où s'arrêtent les massifs formant les culées communes. Les espaces libres *aa* laissés par la juxtaposition de ces ouvertures dissymétriques ont été fermés par des murs verticaux relativement légers, construits à cheval sur les extrémités des voûtes.

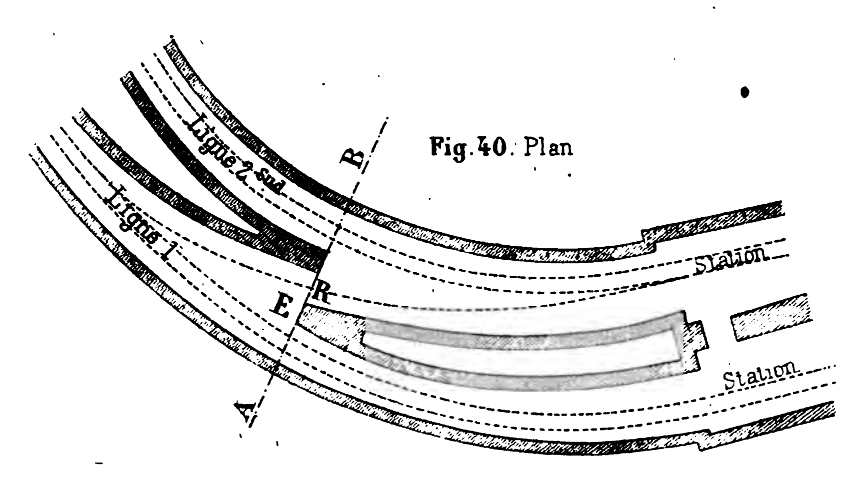
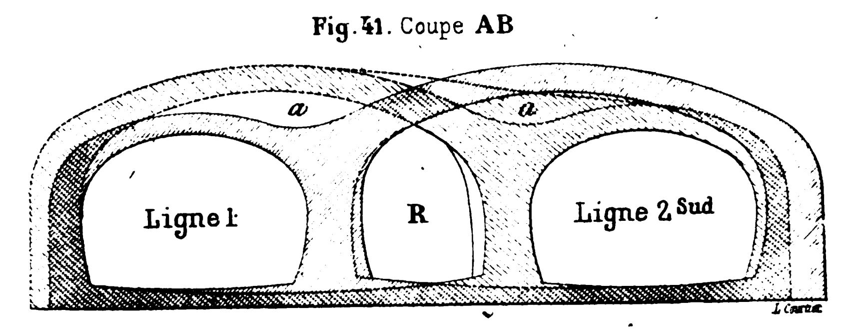



Fig. 40. Plan

On commença par construire ces voûtes sur boisages, mais au moment de la reprise des piédroits en sous-œuvre, on se départit un instant de la prudence qu'on avait mise jusque-là dans le sectionnement des anneaux, et il se produisit, par suite du fléchissement de l'extrémité E de la culée commune, un éboulement total de la grande voûte sur 18 m de longueur, heureusement sans aucun accident de personnes. Toute cette portion fut reprise et reconstruite à ciel ouvert.

Fig. 41. Coupe AB




La station jumelle de l'Étoile, commune aux lignes n$^{os}$ 1 et 2 Sud a été établie par le procédé décrit pour la station Alma, la culée centrale commune, de même que les deux culées latérales

étant construites en galerie. La station de la ligne n° 1 est du type courant à deux quais latéraux, tandis que la station de la ligne n° 2 Sud n'a qu'un seul quai et comporte des fosses de visite.

En sortant de cet ouvrage, on rentre dans le souterrain qui a été construit, sauf une première portion, à l'aide d'un bouclier du type « Vincennes » jusqu'à l'entrée de la boucle terminus de la porte Maillot.

Le raccordement de la ligne n° 1 avec la ligne n° 2 Nord, à l'aide du souterrain à une voie est représenté à titre d'exemple en plan *(fig. 42)* et en coupe *(fig. 43)*.

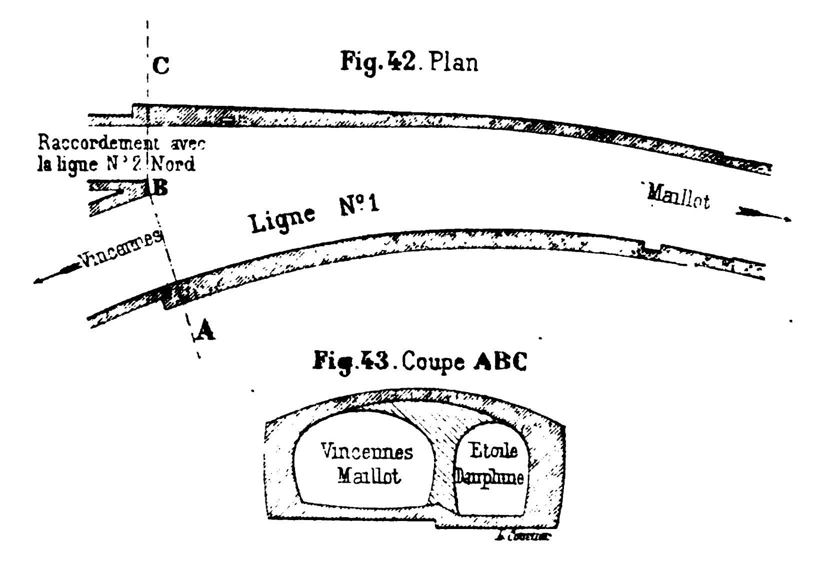


Fig. 42. Plan

Fig. 43. Coupe ABC

La station Obligado a été construite comme celle de l'Alma.

En tête de la boucle terminus de la porte Maillot est une culotte de raccordement.

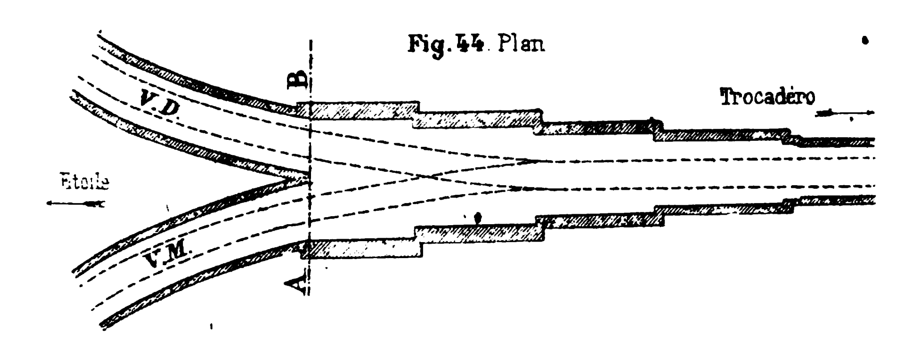
Les deux stations de départ et d'arrivée se trouvent sur chaque branche de la boucle, comme à Vincennes *(fig. 25)*, et sont du type ordinaire. Elles n'ont qu'un quai central avec voie de chaque côté.

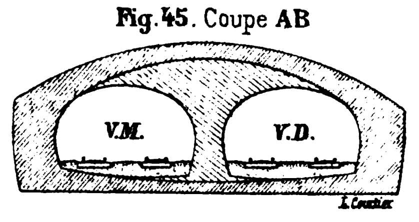
Les deux branches de la boucle exécutées en souterrain par les méthodes ordinaires sont munies de couloirs et de fosses pour la visite du matériel.

Nous devons maintenant revenir à la place de l'Étoile pour y décrire les amorces Étoile-Trocadéro et Étoile-Dauphine.

### Amorce Étoile-Trocadéro

Les deux branches de la boucle terminus de la ligne n° 2 Sud qui est tangente à la station « Étoile » de la ligne n° 1 se développent autour de la place (*fig. 39*) pour aller se réunir à l'entrée de l'avenue Kléber en donnant lieu à un ouvrage très important qu'on a désigné sous le nom de « Télescope Kléber », à cause des retraits successifs qu'il présente. Cette boucle n'a pas moins de 604 m de développement.




Le télescope (*fig. 44 et 45*) est un des ouvrages principaux, au point de vue de la portée, qui atteint jusqu'à 16,40 m ; on put le faire, quoique à une faible profondeur, sans interrompre la circulation de l'avenue. La voûte a été construite sur boisages et les culées reprises en sous-œuvre.

En tête du télescope Kléber est un raccordement à voie unique en courbe qui relie les deux branches de la boucle.

En se dirigeant à partir du télescope Kléber vers le Trocadéro, on trouve 1 097 m de souterrain coupé de trois stations voûtées : Kléber, Boissière et Trocadéro.

La voûte de la station Boissière, à cause de la proximité du sol, fut faite sur cintre en terre, après ouverture de la chaussée par moitiés longitudinales successives.

La voûte des deux autres a été construite en souterrain par anneaux.

Les culées des trois stations ont été établies préalablement à la voûte à l'aide de galeries correspondant au sol par une série de puits spéciaux.

Le bouclier prévu pour le souterrain ne fut utilisé que très peu de temps.

Ce souterrain se prolongeait, du reste, sur 137 m au delà de la station Trocadéro, jusqu'à la rue Franklin.

Pour ces divers travaux, deux chantiers d'attaque principaux furent ouverts, l'un, avenue Kléber, et l'autre, après la place du Trocadéro; on utilisa en outre, trois petits puits secondaires.

Les déblais étaient enlevés soit par tombereaux, soit par le tramway de Saint-Germain, l'entrepreneur de cette partie étant le même que celui des travaux de l'Étoile.

Le sol a, du reste, été excellent, sauf au Trocadéro, où l'on trouva d'anciennes carrières et où l'on fut obligé d'établir préalablement des puits de consolidation.

### Amorce Étoile-Dauphine

La section terminus Étoile-Dauphine, de la ligne n° 2 Nord, comprend 1 085 m, et va de l'avenue de Wagram jusqu'à la boucle terminus Dauphine. Toute cette ligne, au niveau de l'Étoile, passe en dessous des ouvrages des lignes n° 1 et n° 2 Sud. Le profil en long est donné (figure 46).

On y rencontre tout d'abord la station « Étoile » sous l'avenue Wagram, un peu avant la station double du même nom commune aux lignes n° 1 et n° 2 Sud. Ces stations sont mises en communication les unes avec les autres par couloirs et escaliers intérieurs. Les quais de la plus basse sont à 13 m au-dessous de la chaussée.

Le raccordement à une voie établi entre la ligne n° 2 Nord et la ligne n° 1 passe également en dessous de la boucle terminus de la ligne n° 2 Sud (fig. 39).

Toutes ces jonctions de lignes entre elles donnent lieu à des culottes de raccordement sans intérêt spécial.

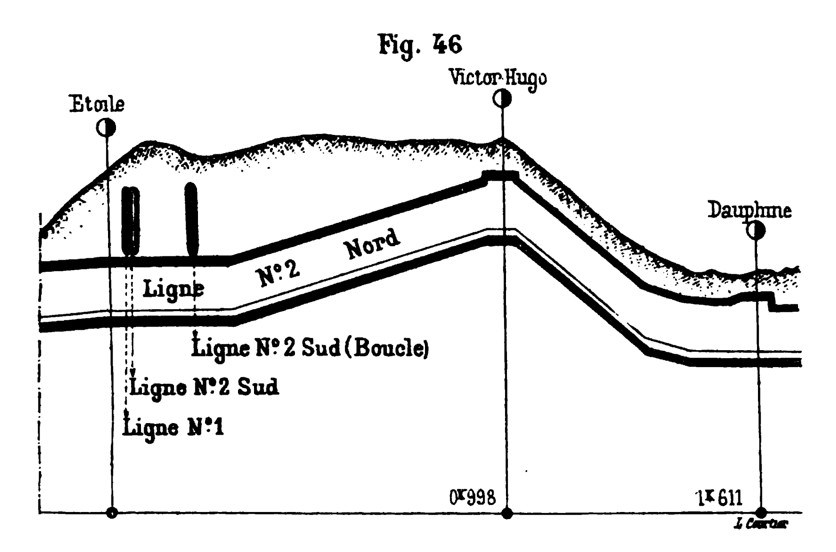
Pour cette section de la ligne n° 2 Nord, on utilisa le chantier central de l'Étoile et deux puits auxiliaires. Le travail fut exécuté par les procédés ordinaires.

Pour le passage du souterrain sous la station double de l'Étoile

et sous la boucle terminus de la ligne n° 2 Sud qui étaient déjà construites, on exécuta d'abord les piédroits au moyen de galeries et de puits qu'on fit monter jusqu'aux maçonneries des ouvrages supérieurs qu'ils soutenaient et avec lesquelles ils faisaient corps.

Le raccordement à une voie passant également sous la boucle terminus de la ligne n° 2 Sud se fit de même par cheminement sous le radier, avec de très grandes précautions de boisages.

Fig. 46




En allant vers la porte Dauphine, on rencontre la station Victor-Hugo qui est du type courant, mais fut exécutée par une méthode particulière :

On procéda par galeries longitudinales en gradins, en partant des culées et en se dirigeant vers le sommet de la voûte; les maçonneries se faisaient successivement et l'ensemble était ainsi constitué de la juxtaposition de tranches longitudinales accolées; on procéda ensuite à l'enlèvement du stross et à la construction du radier.

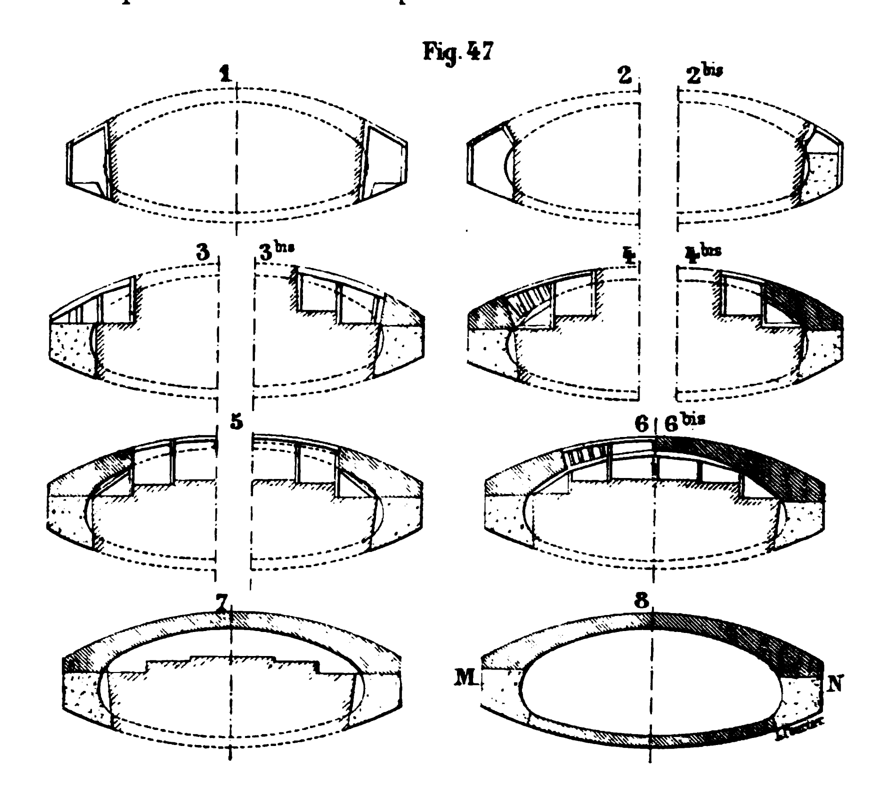
On voit parfaitement (*fig. 47*) en coupes transversales la succession de ces travaux.

La voûte de l'ouvrage spécial en tête de la boucle terminus Dauphine qui a 18,20 m de portée, a été construite sur cintre en terre avec ouverture de la chaussée par trois bandes longitudinales successives pour ménager la circulation; les culées ont été reprises en sous-œuvre en quinconce.

La boucle terminus comporte une station d'arrivée et une de départ ; la première n'a qu'un seul quai latéral à voyageurs, l'autre étant réservé au service ; la deuxième a un quai central avec voie de chaque côté.

Le souterrain courant sur 508 m entre les stations Victor-Hugo et Dauphine a été construit par les méthodes habituelles.

Fig. 47




On utilisa deux chantiers d'attaque, le principal, porte Dauphine, et l'autre, place Victor-Hugo. Les déblais étaient enlevés par tombereaux.

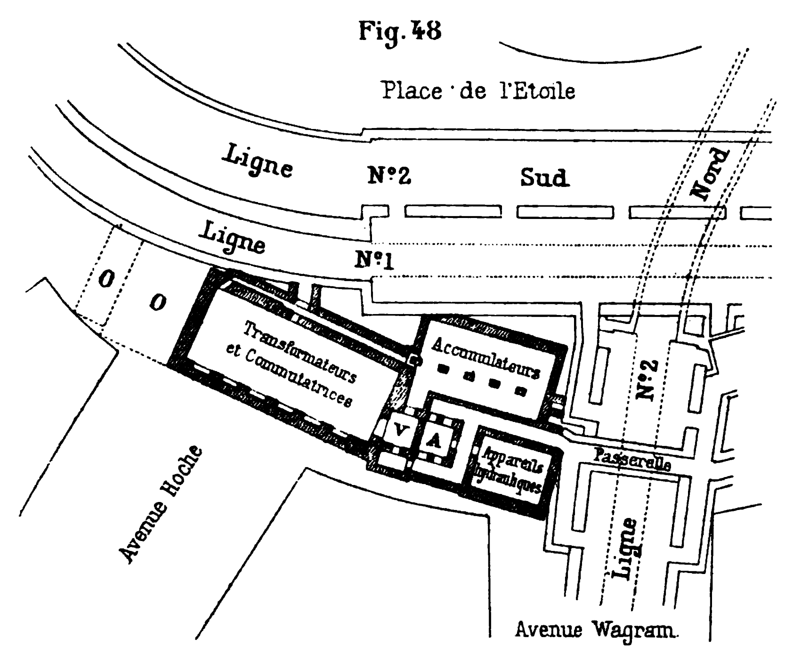
Ici se termine la description particulière de la ligne n° 1 et des amorces des lignes n° 2 Nord et n° 2 Sud qui furent construites en même temps.

## Sous-stations électriques de l'Étoile et du Louvre.

En outre des travaux déjà très importants exécutés sous la place de l'Étoile pour le passage des diverses lignes, on y a établi une sous-station fournissant l'énergie et la lumière nécessaires à

la partie ouest du réseau ; cette sous-station reçoit le courant alternatif à haute tension (5 000 volts) provenant de l'usine centrale de Bercy, au moyen de câbles placés le long de la voie ; elle comporte en même temps une très puissante batterie d'accumulateurs ; elle a été installée entièrement en souterrain au nord-est de la place, dans l'angle compris entre la ligne n° 1 et la ligne n° 2 Nord, entre les avenues Wagram et Hoche, et a été implantée de façon à conserver l'aspect antérieur.

Fig. 48




La salle des accumulateurs a 22 m de long, et est composée de trois travées de 5 m de large chacune ; les accumulateurs y sont disposés sur deux étages.

Les transformateurs et les commutatrices sont dans une salle unique de 30 m sur 13, avec possibilité d'extension en longueur.

La machinerie hydraulique des ascenseurs est placée dans une salle de 12,90 m sur 9.

Ces seules dimensions donnent une idée de l'importance de ces travaux.

Toutes ces salles sont réunies par des couloirs voûtés appropriés, soit pour les mettre en communication les unes avec les autres, soit pour les faire communiquer avec les lignes voisines, soit pour l'arrivée et le départ des câbles.

On peut voir (*fig. 48*) le plan de la sous-station figuré en hachures alors que tous les travaux des autres lignes ainsi que les communications, sont figurés au trait.

La sous-station du Louvre fournit le supplément de force nécessaire pour l'exploitation intensive de la ligne n° 1 et desservira en outre la ligne n° 4; elle est établie place Saint-Germain-l'Auxerrois, au croisement de ces deux lignes; elle comprend également des transformateurs placés dans une salle de 14 m sur 11 ; elle est entièrement souterraine et est susceptible d'agrandissement.

# LIGNE N° 2 NORD

## **Profil géologique** *(Pl. 105).*

De la porte Dauphine à la place Victor-Hugo, le souterrain est en entier dans le calcaire grossier supérieur. Il n'y est plus qu'en partie entre l'avenue Victor-Hugo et l'Étoile.

A partir de la place de l'Étoile, le calcaire grossier supérieur et les sables de Beauchamps s'infléchissent et disparaissent sous la station de Courcelles où le travertin de Saint-Ouen occupe toute la hauteur de la fouille. Le travertin se perd sous la station du Parc Monceau, mais réapparait sur les deux tiers de la hauteur du souterrain à la station de Villiers, atteint l'extrados entre ce point et la station de Rome où il revient au niveau du radier jusqu'à 200 m avant la place Clichy; son sommet affleure les tunnels du chemin de fer de l'Ouest.

Sur tout le parcours des boulevards de Courcelles et des Batignolles, le travertin est surmonté par la couche régulière des sables verts infragypseux, recouverts par des couches diverses, stratifiées ou non, calcaires, marneuses, sableuses, argileuses.

De la place Clichy à la place Blanche, les couches stratifiées ont été remplacées par un mélange sans stratification de tous les terrains supérieurs détruits, y compris les sables de Fontainebleau.

Entre la place Blanche et la station d'Anvers, on a rencontré des massifs importants de gypse et marnes inexploités, représentant les deuxième et troisième masses, interrompus par des terrains mélangés ou remblais d'anciennes exploitations.

Entre la station d'Anvers et celle de Barbès, les remblais, qui

atteignent 12 m environ d'épaisseur, s'arrêtent sur le banc inférieur de la deuxième masse.

De la station de Barbès au chemin de fer du Nord, les remblais varient de 8 à 20 m d'épaisseur. Tous les gypses ont été exploités jusqu'au niveau des sables infragypseux.

Les fondations du pont du chemin de fer du Nord s'arrêtent sur le travertin de Saint-Ouen.

Au delà du chemin de fer du Nord, on trouve d'énormes remblais variant de 28 m à 17 m de hauteur s'appuyant sur les sables de Beauchamps ou sur les sables infragypseux.

En ces points, les calcaires et marnes de Saint-Ouen étaient transformés en grande partie en gypse saccharoïde.

Jusqu'au chemin de fer de l'Est, où on atteint le sommet de la quatrième masse de gypse, les deuxième, troisième, quatrième masses sont plus ou moins affaissées et discontinues, surmontées soit par des remblais, soit par des terrains anciens non stratifiés.

Entre le chemin de fer de l'Est et la rue de Belleville, on retrouve la base de la deuxième masse, ainsi que les troisième et quatrième masses ayant fait l'objet d'exploitations souterraines.

Sur 1 km environ, de la rue de Bellevillle à la station de Ménilmontant, toutes les couches stratifiées anciennes ont été remplacées par un mélange sans stratification, de marnes, calcaires et argiles, avec poches parfois importantes de marnes vertes ou de sables de Fontainebleau remaniés.

A la station de Ménilmontant réapparaissent les sables verts infragypseux qu'on ne perd plus jusqu'à la place de la Nation et qui suivent à peu près le radier.

Au dessus, en contact direct, viennent les marnes à « Pholadomia ludensis ». Par une particularité curieuse, la quatrième masse de gypse n'existe pas dans ces parages.

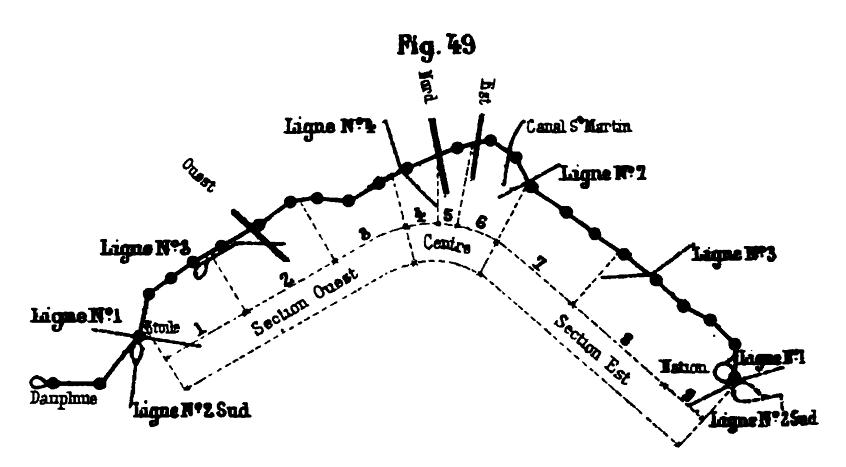
Le souterrain traverse ensuite les deuxième et troisième masses de la station de Ménilmontant jusqu'à la station de Bagnolet, où elles sont transformées en couches diverses, pseudomorphes du gypse, calcaires, marneuses, argileuses, stratifiées jusqu'à la station d'Avron, au delà de laquelle les sables verts infragypseux sont recouverts par un mélange bariolé de marnes, calcaires, argiles et sables de Fontainebleau remaniés.

La nappe d'eau a été rencontrée entre les chemins de fer du Nord et de l'Est, aux cotes 26,60 et 26,90.

## Renseignements généraux.

La ligne n° 2 Nord part de la porte Dauphine et aboutit à la place de la Nation en suivant les boulevards extérieurs. Elle se termine à chaque extrémité par une boucle. On trouve son plan (*fig. 49*) et son profil en long (*Pl. 104*).

Fig. 49




Elle a une longueur de 12415 m.

Son amorce « Étoile-Dauphine » a été exécutée dès l'année 1900, en vue de l'Exposition, et a été décrite en même temps que la ligne n° 1.

Elle rencontrera sur son parcours les autres lignes métropolitaines aux points indiqués sur le plan. On y trouvera également la division en sections et lots pour l'exécution des travaux.

Les tableaux annexes donnent les dépenses ainsi que les noms des Ingénieurs et Entrepreneurs.

Elle est en viaduc entre le boulevard Barbès et la rue d'Allemagne, sur une longueur de 2000 m, et en souterrain partout ailleurs.

Sa construction a donné lieu à de nombreux raccordements et déplacements d'égouts et de conduites d'eau et de gaz.

Elle a nécessité, en particulier, la construction d'un collecteur très important, celui des Coteaux, qui s'étend sur une longueur de 3500 m entre le quai Jemmapes et la place Clichy, où il rejoint le collecteur Clichy par 35 m de profondeur.

On a eu recours au viaduc, beaucoup plus coûteux, surtout à cause des traversées des lignes du Nord et de l'Est, et du canal

Saint-Martin qui auraient conduit à des profondeurs beaucoup trop grandes.

Un peu avant les passages de souterrain en viaduc, ainsi que sur un espace de 200 m entre les rues de Belleville et des Couronnes, on a remplacé le souterrain par des tranchées à planchers métalliques plus ou moins distants du sol, suivant qu'on se trouvait sous chaussée ou sous contre-allée.

Chaque fois que la ligne passait sous des avenues plantées d'arbres, les racines de ceux-ci étaient, au préalable, découpées en mottes carrées qu'on soutenait, pendant toute la durée des travaux, sur de faux planchers.

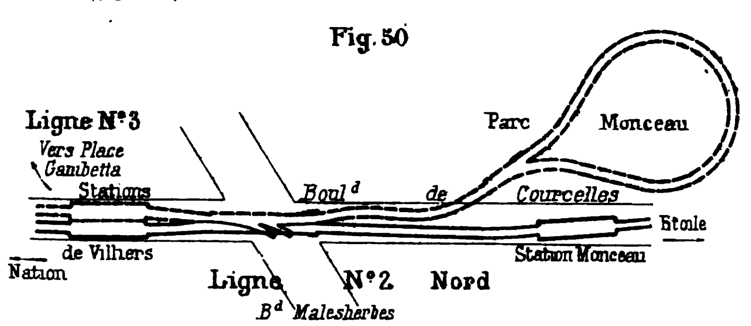
On n'a employé nulle part le bouclier qui avait été rendu facultatif, au lieu d'être imposé comme pour la ligne n° 1.

## Description détaillée des travaux.

Tous les souterrains ont été construits par des méthodes de boisages absolument analogues à celles que nous avons rencontrées pour la ligne n° 1. Nous n'insisterons donc que sur les ouvrages particuliers, et sur le viaduc qui n'a pas encore été rencontré.

Entre l'Étoile et la place Clichy, il n'y a à signaler que l'ouvrage spécial de l'avenue de Villiers qui correspond à la jonction de la ligne n° 2 Nord avec la ligne n° 3 et qui comprend en outre, la boucle terminus de la ligne n° 3 établie sous le parc Monceau (*fig. 50*).

Fig. 50

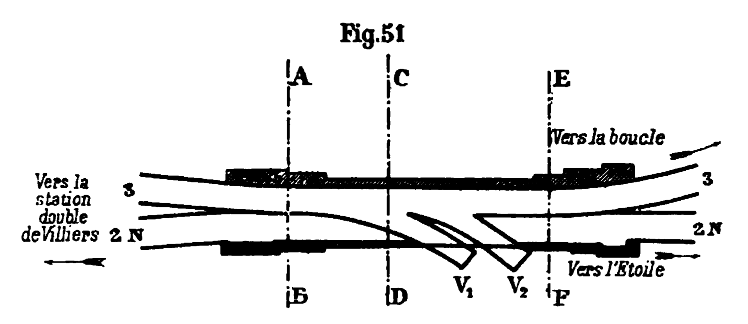



Primitivement, les deux lignes n° 2 Nord et n° 3 étaient prévues au même niveau. Les deux stations étaient accolées et suivies d'une voûte à grande portée, abritant les quatre voies et donnant naissance, d'une part, au prolongement de la ligne n° 2

Nord sur l'Étoile, et, d'autre part, à la boucle terminus de la ligne n° 3 sous le parc Monceau.

Par suite d'une décision du Conseil municipal du 31 décembre 1901, on dut mettre à l'étude un prolongement ultérieur de la ligne n° 3 vers la porte d'Asnières. On décida alors l'approfondissement de cette ligne, de façon à pouvoir amorcer le prolongement en question en deux souterrains distincts passant sous la ligne n° 2 Nord, vers le milieu de la voûte à grande portée (*fig. 51*).

Fig. 51




La ligne n° 3 forme un point bas au niveau de l'amorce de ces souterrains et se relève rapidement vers la station commune et vers la boucle. Toutefois, la station de la ligne n° 3 n'a pu regagner le niveau de la station de la ligne n° 2 Nord, et elles communiquent par des escaliers de quelques marches pratiqués dans la culée commune.

Ces modifications furent très délicates puisque, d'une part, on creusait très en dessous des fondations déjà établies de la voûte à grande portée, et que d'autre part, on ne devait reculer en aucune façon la mise en exploitation imminente de la ligne n° 2 Nord.

On a construit dans l'axe de la grande voûte un mur de soutènement M servant à soutenir la plate-forme de la ligne n° 2 Nord. Une portion de la ligne n° 3 ainsi enfoncée, a été recouverte d'un plancher métallique P. La figure 52 montre en coupes transversales l'approfondissement aux différents points.

L'amorce du prolongement a été faite à l'aide de deux voûtes distinctes V, $V_2$ (*fig. 51*) qui passent à une profondeur suffisante sous la culée Nord de la grande voûte.

Quand à la culée Sud, elle a été reprise en sous-œuvre avec toutes les précautions nécessitées par la grande portée de cet ouvrage.

Au niveau de la rue de Rome, la ligne S passe au-dessus des trois souterrains BB, de la ligne de l'Ouest. Le radier du tunnel touche l'extrados des souterrains *(fig. 53)*.

On aperçoit l'ancienne conduite de l'Avre A qu'on a dû dépla-

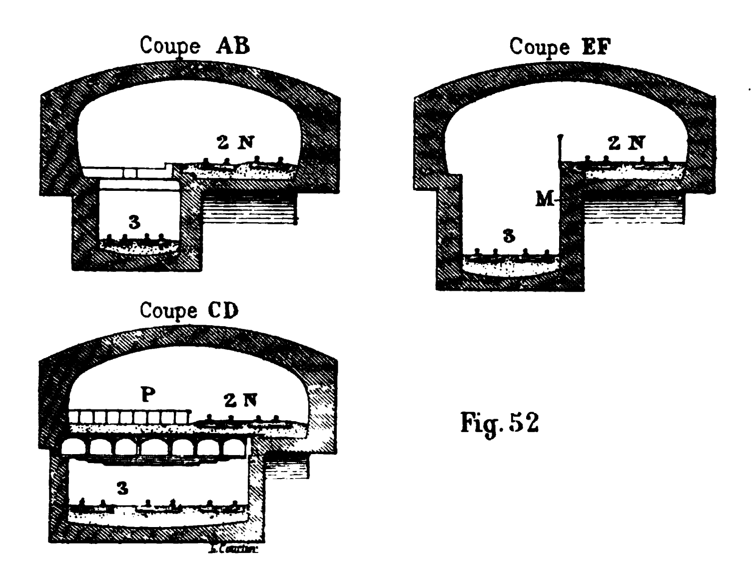



Fig. 52

cer en A′, et l'aqueduc de l'Ourcq O qu'on a reporté en O′. On voit en outre deux égouts latéraux E, E, avec canalisations intérieures d'eaux de sources s, s, s et d'eau de rivière R.

Dans tout le parcours, entre la place Clichy et Barbès, les boi-

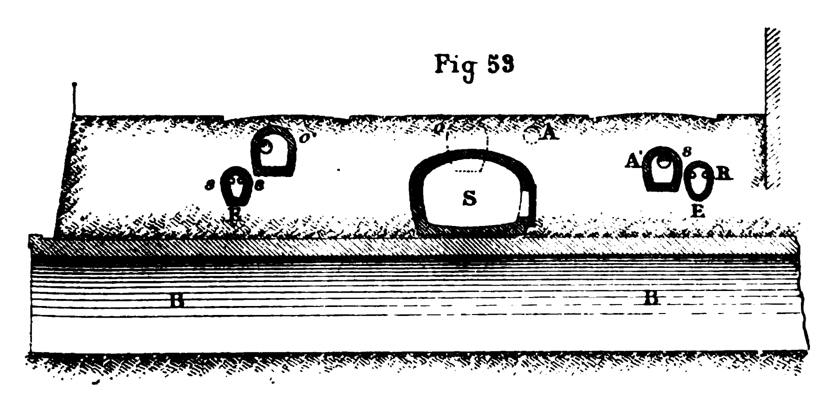
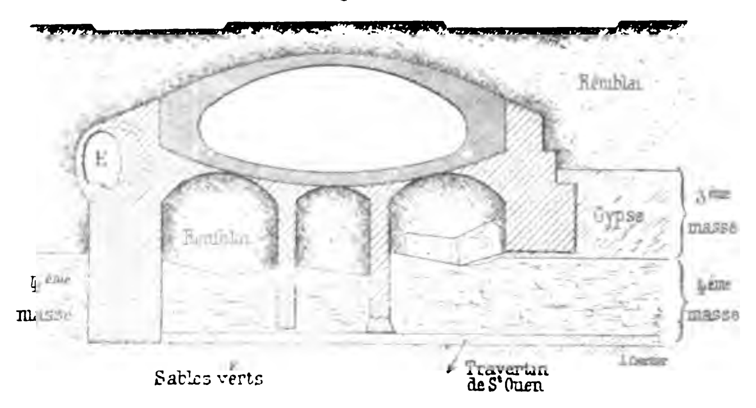



Fig 53

sages et la construction ont dû se faire avec de grandes précautions, et à la station d'Anvers, on s'est trouvé dans l'obligation d'adopter les moyens de consolidation spéciaux qu'on retrouve, du reste, à la station du Combat *(fig. 54)*.

Ces stations se trouvent sur des remblais reposant sur des bancs de gypse plus ou moins disloqués ; on établissait de chaque côté de l'ouvrage, en dehors des culées, des murs de consolidation dont la base reposait sur des puits ou sur le terrain solide, lorsqu'il était rencontré.

Fig. 54




Ces murs englobaient souvent, comme on peut le voir (*fig. 54*) qui représente la station du Combat, des portions d'égouts E conservés.

En outre, sous le radier, on a élevé deux autres murs longitudinaux qu'on raccordait ensemble et aux précédents par des voûtes construites sur le remblai même comme cintre; c'est sur cet ensemble de maçonnerie qu'on a établi, par les moyens habituels, la voûte, les culées et le radier de la station.

Un peu après la station d'Anvers, la ligne passe de souterrain en viaduc avec un ouvrage spécial de raccordement composé d'une partie en tranchée voutée, d'une partie en tranchée ouverte et d'un ouvrage de maçonnerie composé de deux murs latéraux dont l'intervalle a été remblayé en pente convenable pour gagner le niveau du viaduc.

Le viaduc se compose d'une suite de travées de portée variable, composées de deux poutres de rive supportant le tablier à leur partie inférieure. La hauteur sous viaduc est de 4 m correspondant à celle des échelles de pompier.

On a adopté, en général, la travée de 22 m environ. La traversée du chemin de fer de l'Est a nécessité une travée de 75 m, et celle du chemin de fer du Nord, deux travées de

même portée, l'une pour franchir la ligne actuelle, l'autre établie en prévision du doublement de cette ligne.

Toutes les poutres de rive sont du type à treillis en N, avec semelle inférieure rectiligne, et semelle supérieure parabolique.

En raison de la mauvaise nature du sol, toutes les travées sont indépendantes.

Les poutres sont simples ou jumelles suivant la portée.

La voie en viaduc est ballastée comme dans le souterrain, sauf sur les travées de 75 m, pour éviter la surcharge. Pour le viaduc ballasté, le tablier est constitué par des entretoises transversales assemblées aux poutres de rive; elles sont réunies par des voûtelettes en briques hourdées au ciment. De chaque côté et sur les têtes des voûtelettes, s'appuie un petit mur de maçonnerie en briques, parallèle à l'axe, et le tout est recouvert par une chape en ciment de 2 cm, formant une sorte de radier absolument étanche sur lequel est posé le ballast. L'écoulement des eaux est assuré par une gouttière longitudinale reliée au sol de distance en distance. De chaque côté est un petit trottoir de service de 70 cm en tôle striée.

Dans les travées de 75 m, les deux poutres maîtresses de rive sont réunies par un tablier à la partie inférieure, et par un contreventement à la partie supérieure.

Chaque travée du viaduc s'appuie sur les piles en maçonnerie ou sur les colonnes par des appareils à rotule, l'un fixe, l'autre mobile.

Les colonnes en fonte ornée, de 7 mm d'épaisseur, sont fixées sur des dés en pierre de Souppes; les piliers sont en pierre d'Euville reposant sur un soubassement en pierre de Souppes.

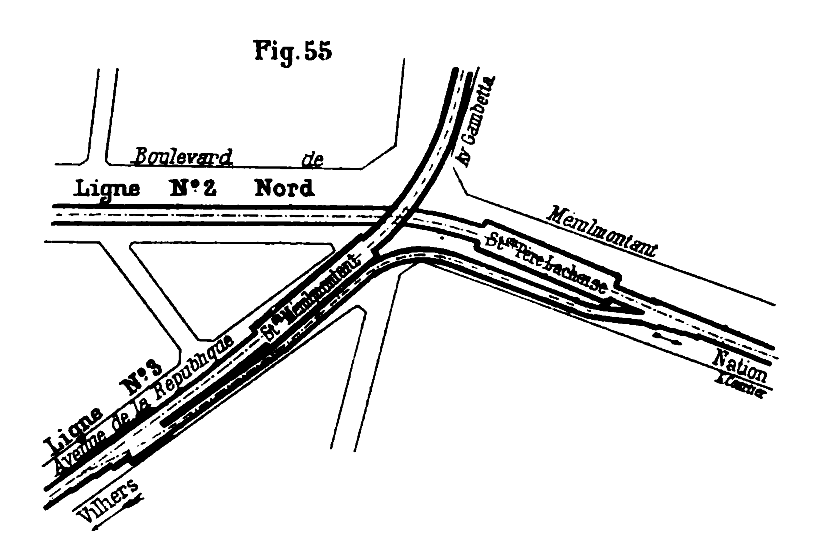
Les stations en viaduc comportent quatre poutres parallèles à l'axe, sur une longueur de 75 m, divisée en cinq travées. Les deux poutres centrales supportent à la fois le tablier des voies et un des côtés des quais latéraux, l'autre côté étant supporté par les poutres extérieures. Les premières reposent sur des colonnes métalliques, et les autres sur des piliers en maçonnerie.

Presque toute la partie en viaduc entre la station d'Anvers et celle du Combat reposant sur de très mauvais terrains, on a dû recourir, le plus souvent, à des fondations sur pieux.

Chaque appui de colonne était, en général, fondé sur seize pieux battus à refus jusqu'à une profondeur moyenne de 10 m dans un carré de 3,70 m de côté. Les têtes de ces pieux étaient noyées dans une couche de béton de 1 m environ d'épaisseur, sur laquelle reposait directement le socle.

La partie située entre la station d'Allemagne, où la ligne rentre en souterrain, et la place de la Nation, ne présente rien de particulier, à part la station du Père-Lachaise, où la ligne n° 2 Nord descend à 13 m au-dessous de la chaussée, pour laisser passer au-dessus d'elle la ligne n° 3 *(fig. 55)*.

Fig. 55




Les deux lignes sont réunies par un raccordement à voie unique, et les stations sont mises en communication par une série d'escaliers et de couloirs souterrains.

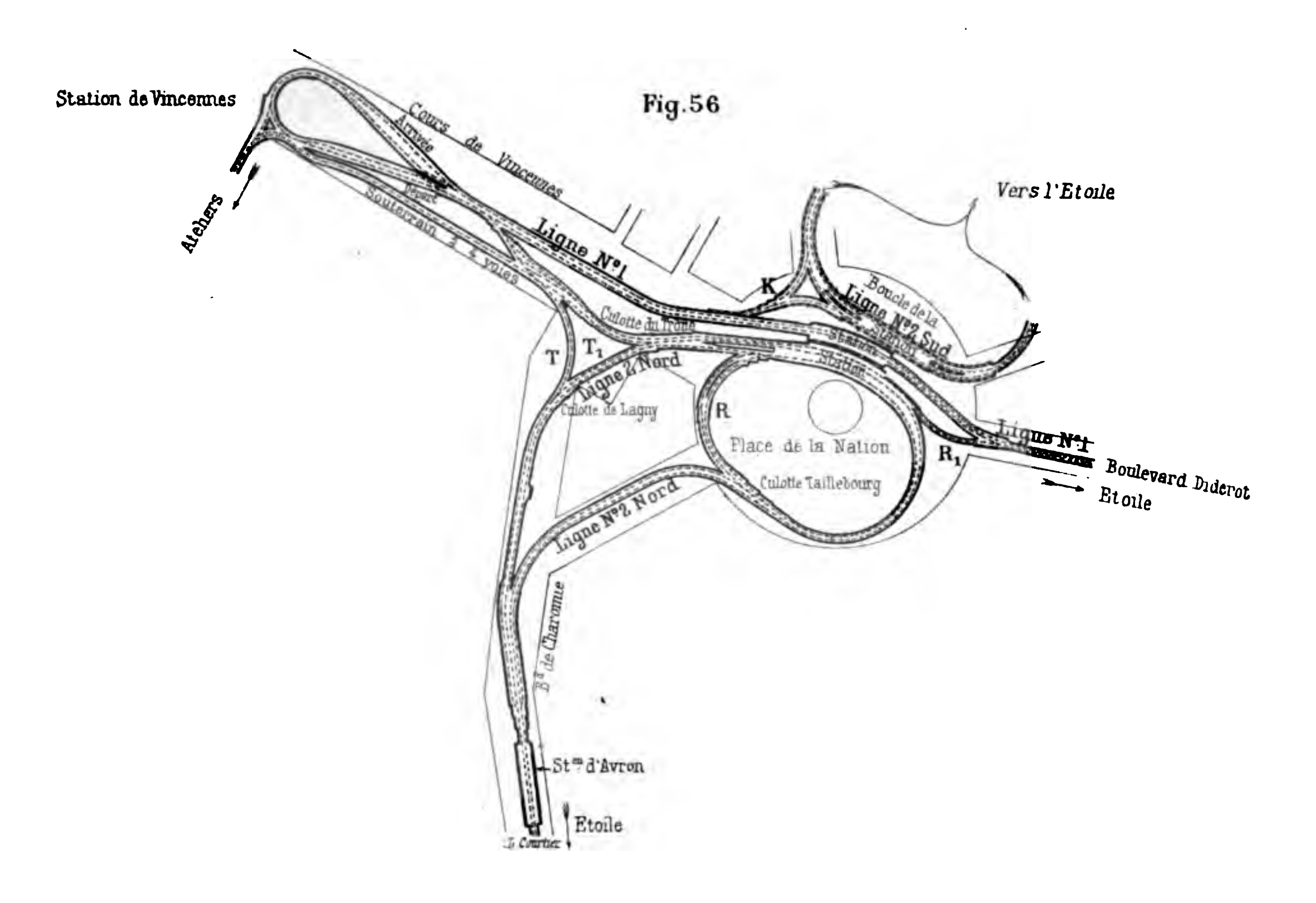
Sur tout ce parcours, on a traversé des remblais et éboulis qui ont nécessité de minutieuses précautions et de nombreuses consolidations.

Nous arrivons ainsi à la boucle terminus de la place de la Nation, formée d'un ensemble d'ouvrages extrêmement compliqués *(fig. 56)*.

Au sortir de la station d'Avron, la ligne se dédouble en deux branches à double voie; la première, par la rue de Taillebourg, débouche sur la place de Nation, la contourne à l'ouest, et vient se juxtaposer tangentiellement à la ligne n° 1, à la hauteur de la station « Nation » de cette dernière ligne.

Cette branche comporte une station à trois voies accolée à la première et communiquant quai à quai.

La deuxième branche suit le boulevard de Charonne jusqu'à l'avenue du Trône, par laquelle elle gagne la place de la Nation pour venir rejoindre la première branche à la station terminus.


Fig.56
Station de Vincennes
Ateliers
Cours de Vincennes
Arrivée
Ligne N°1
Vers l'Etoile
K
Boucle de la
Ligne N°2 Sud
Station
Culotte du Trône
T
T₁
Ligne 2 Nord
Culotte de Lagny
R
Place de la Nation
Culotte Taillebourg
R₁
Ligne N°1
Boulevard Diderot
Etoile
Ligne N°2 Nord
Bd de Charonne
Stn d'Avron
Etoile

Les deux branches de la boucle sont réunies entre elles à l'est par un raccordement de service à double voie R; un raccordement à voie unique $R_1$, établi au sud-ouest, met la boucle en communication avec la ligne n° 1 à l'entrée du boulevard Diderot.

Sur la branche de Charonne est établi un triangle, dont une branche à une voie T, l'autre à deux voies $T_1$, qui aboutissent au souterrain de garage à quatre voies qui règne tout le long du cours de Vincennes, parallèlement à la ligne n° 1.

Enfin, on est en train de construire la boucle terminus de la ligne n° 2 Sud, qui comportera une station à peu près tangentielle à la station de la ligne n° 1, et, en outre, un triangle de communication K avec cette ligne.

### Garages.

On a établi, sur la ligne n° 2 Nord, deux garages pour remiser les trains ayant subi des avaries; le premier après la station de la place Blanche, le second avant celle de Belleville, divisant ainsi la ligne en trois tronçons à peu près égaux. Chaque garage se compose d'un souterrain à voie unique juxtaposé avec la galerie principale.

# LIGNE N° 3

## Profil géologique *(Pl. 105)*.

La partie nord de la boucle Villiers, sous le parc Monceau, est presque entièrement située dans la base du travertin de Saint-Ouen, et la partie sud dans le sommet des sables de Beauchamps.

Jusqu'à la station de l'Europe, la ligne reste dans le travertin, pénètre ensuite dans les sables de Beauchamps, et touche, près de la place de Rome, au calcaire grossier supérieur plus ou moins ondulé, qui s'infléchit brusquement et disparaît au droit de la façade de la gare Saint-Lazare. Au sommet des sables de Beauchamps, on a rencontré des nodules sphériques ou ovoïdes creux, remplis de sable, d'un diamètre variant de 0,50 à 0,80 m.

De la gare Saint-Lazare à l'Opéra, la ligne repose dans les sables et graviers de la Seine.

Place de l'Opéra, les fondations des trois lignes superposées

ont traversé, après les alluvions anciennes de la Seine, les sables de Beauchamps, à l'état d'abord pur, puis argileux, et des marnes bleues, dures, compactes, fossilifères, jusqu'à la cote 15,50, sans atteindre le calcaire grossier rencontré dans un forage à la cote 11 environ.

Il y a donc environ 15 m de différence de niveau entre le sommet du calcaire grossier gare Saint-Lazare, et son sommet place de l'Opéra.

De la place de l'Opéra à la place de la République, la ligne repose dans les alluvions anciennes de la Seine, sables et graviers.

Place de la République, elle a traversé un ancien marais, profond de 2 à 3 m, dans lequel on a trouvé des plâtras avec soufre régénéré. A la base, de nombreux petits cristaux de calcite, disséminés dans la terre noire, occupaient les vides laissés par le sulfate de strontiane qui y avait cristallisé primitivement.

A l'entrée, on a dû démolir l'ancienne fondation sur pilotis de la porte du Temple, anciens remparts de l'enceinte créée sous Charles V (1364-1380); la conservation des pieux en bois de chêne était parfaite.

A partir de la place de la République, la ligne s'infléchit pour passer sous le canal Saint-Martin au travers du calcaire grossier supérieur, puis elle recoupe la base des sables de Beauchamps, et les graviers de Seine, en montant l'avenue de la République, occupée ensuite par un dépôt important de sables de Fontainebleau remaniés.

A sa rencontre avec la ligne n° 2 Nord, boulevard Ménilmontant, la ligne rencontre un massif gypseux correspondant aux deuxième et troisième masses, puis, remontant l'avenue Gambetta, elle pénètre dans des remblais d'anciennes exploitations gypseuses jusqu'à la place Martin-Nadaud, où un massif de la première masse a été traversé.

Entre la station Martin-Nadaud et la place Gambetta, il y a eu dissolution du gypse par l'eau, et remplissage des cavités ainsi formées par un mélange de tous les terrains voisins, y compris les sables de Fontainebleau qui occupent, sous la place, une poche aquifère très importante, qui donnera lieu aux « sables boulants » dont il sera parlé plus loin.

Il en est de même rue Belgrand et rue de la Chine.

Place de l'Opéra, la nappe d'eau a été rencontrée à la cote 24,10.

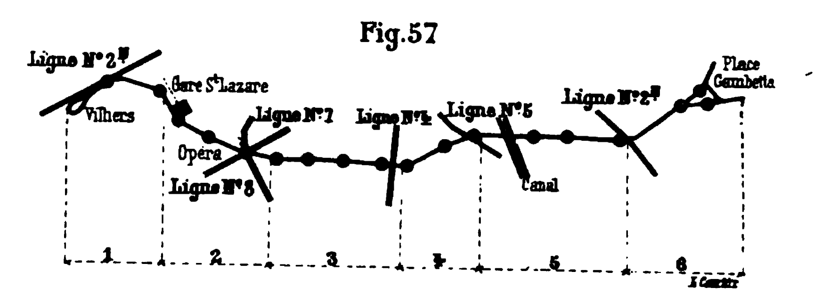
## Renseignements généraux.

La ligne n° 3 part de la station de Villiers pour aboutir à la place Gambetta.

Elle se termine à chaque extrémité par une boucle.

On trouve son plan (*fig.* 57) et son profil en long (*Pl. 104*).

Fig.57




Elle a une longueur totale de 7 485 m.

Elle est entièrement en souterrain.

Elle rencontre sur son parcours les autres lignes métropolitaines aux points indiqués sur le plan.

On y trouvera également la division en sections et en lots pour l'exécution des travaux.

Les tableaux-annexes donnent les dépenses ainsi que les noms des Ingénieurs et Entrepreneurs.

Elle a donné lieu à de nombreuses modifications des conduites de gaz et d'eau et des égouts.

Le collecteur Clichy, à lui seul, a coûté 1 370 000 f.

Les matériaux et déblais de la station de l'Opéra et des parties voisines ont été véhiculés par une voie de pénétration, dans la gare Saint-Lazare, communiquant avec les lignes d'Auteuil et se prolongeant sur 320 m sous la rue de Rome.

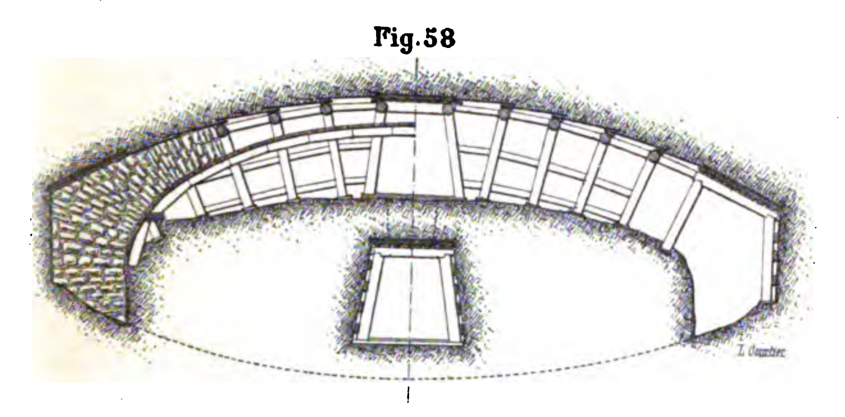
Sur divers chantiers, la traction a été faite par des locomotives à air comprimé, chargées à 80 kg de pression, qui atteignaient un effort de traction de 1 940 kg et remorquaient dans des rampes de 4 0/0, des trains de 40 t. Elles conduisaient les déblais sur des estacades, sous lesquelles plusieurs tombereaux à la fois venaient recevoir leur chargement à l'aide de trémies.

## Description détaillée des travaux.

Les ouvrages avoisinant la station de Villiers et la boucle terminus ont été décrits à propos de la ligne n° 2 Nord.

Tous ces travaux, y compris l'ouvrage spécial à grande portée, ont été exécutés à l'aide de boisages complets établis jusqu'aux naissances, avec deux galeries centrales d'avancement, l'une

Fig. 58



supérieure, l'autre inférieure, abatage de chaque côté de la galerie supérieure et extraction des déblais par la galerie inférieure. La voûte était faite par anneaux de 1,50 m, et les piédroits repris en sous-œuvre, en quinconce, de quatre en quatre an-

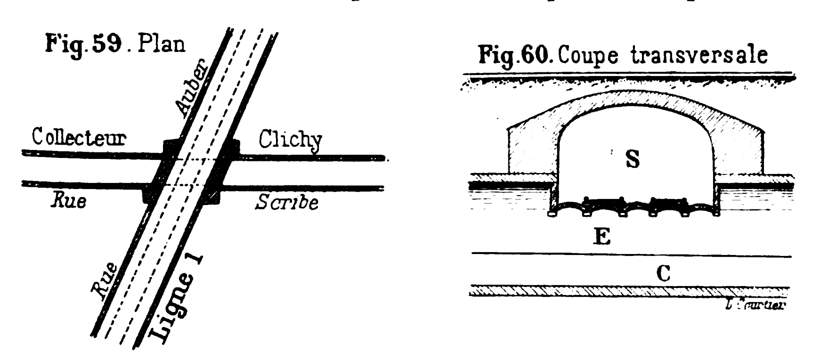



Fig. 59. Plan

Fig. 60. Coupe transversale

neaux. Ces piédroits présentaient cette particularité d'être faits entièrement en béton jusqu'au joint de rupture de la voûte, où commençait la maçonnerie.

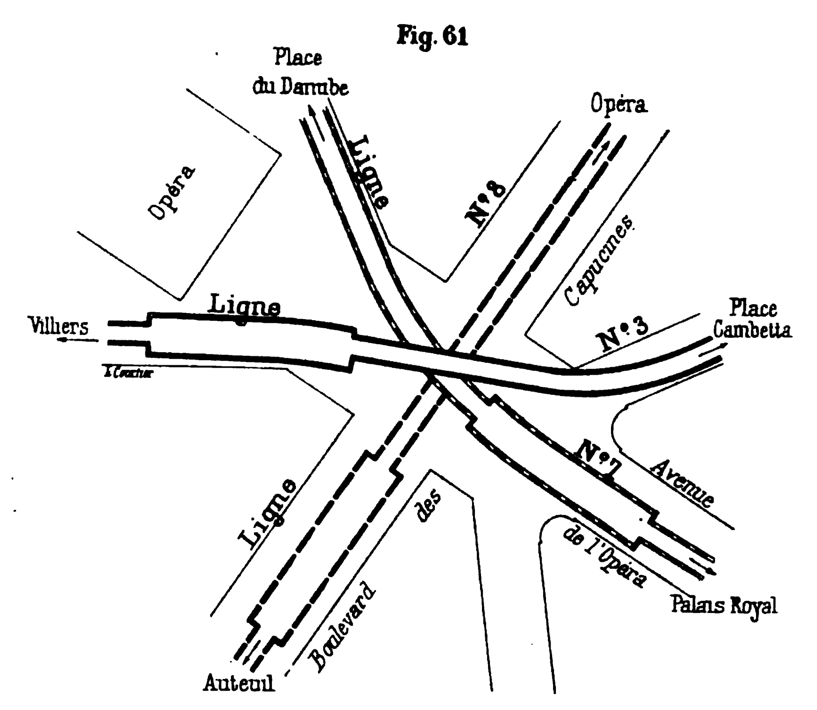
La figure 58 montre, à titre d'exemple, un de ces boisages avec tous les détails d'exécution.

Avant l'Opéra, il n'y a à citer que la traversée du collecteur Clichy, qui va de la Trinité à la rue des Petits-Champs.

La ligne n° 3 le traverse en biais au carrefour des rues Auber et Scribe *(fig. 59)*. Elle passe par dessus, et la voûte du collecteur est remplacée au point de croisement par un tablier métallique pour gagner de la hauteur *(fig. 60)*.

Place de l'Opéra, il s'agissait de prévoir immédiatement le passage des trois lignes superposées dont les axes sont inclinés à peu de chose près à 60 degrés l'un par rapport à l'autre *(fig. 61)*.

Fig. 61




La ligne n° 8 Auteuil-Opéra passe à la partie inférieure et ses rails sont à 16 m au-dessous du sol, à la cote 20,13.

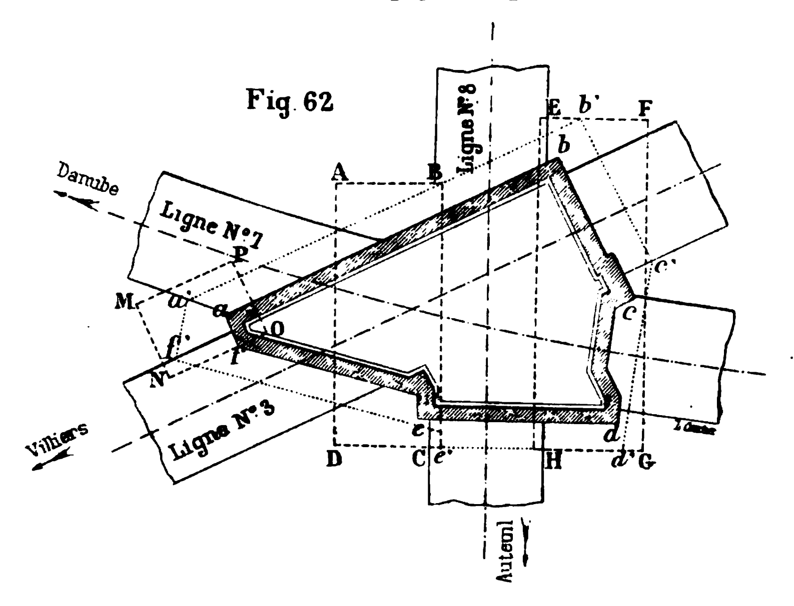
Ceux de la ligne n° 7 sont à la cote 25,23 et ceux de la ligne n° 3 qui se trouve à la partie supérieure, à la cote 29,73.

La nappe d'eau se trouve à la cote 24,10 et imbibe complètement les sables qui forment le sous-sol ; on a donc dû faire les fondations à l'aide de caissons à air comprimé.

L'ouvrage *(fig. 62)* se compose de deux grands blocs de maçonnerie, ABCD, EFGH, parallèles, construits à l'aide de caissons à air comprimé, reposant sur le terrain solide à la cote 11 et arasés à la cote 24.

Le grand axe de ces blocs est parallèle à la ligne n° 8. Un bloc plus petit, MNOP, également construit par caisson, arasé à la même cote, a son grand axe parallèle à la ligne n° 3.

Sur ces trois blocs a été bâti un ouvrage en maçonnerie formant un tronc de pyramide à section pentagonale dont la base *a'b'c'd'e'f'* repose sur les trois massifs, et dont la partie supérieure *abcdef* correspond à la base du plancher métallique qui supporte directement la chaussée. Les faces de ce tronc de pyramide sont formées de murs avec réduits successifs dans lesquels sont ménagés les arcs et murs pignons qui serviront d'amorce




aux voûtes des trois lignes. Le tout a été consolidé par des voûtes d'élégissement convenablement disposées. A l'heure actuelle, la ligne n° 3 seule est terminée et passe sur un pont métallique qui traverse tout l'ouvrage et repose sur des points d'appui spécialement réservés.

Au-dessus d'elle un plancher métallique formé de poutres de très grande hauteur et reposant sur le polygone *abcdef* supporte directement la chaussée à l'aide de voûtelettes en briques.

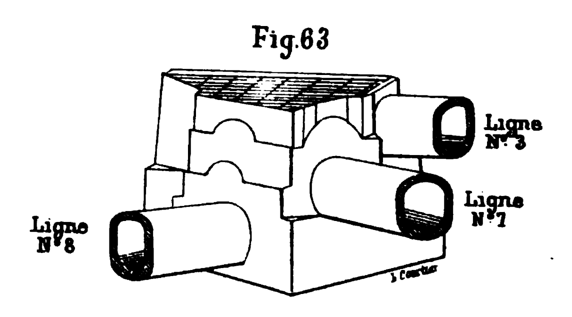
La ligne n° 7 n'est pas encore faite. Les amorces des voûtes dans les murs latéraux sont seules exécutées. Elle passera également sur un pont métallique qui sera jeté ultérieurement et reposera sur des appuis préparés sur la surface même des blocs ABCD EFGH et MNOP.

Enfin la ligne n° 8 inférieure, dont les amorces de voûtes sont seules exécutées, passera entre les deux grands blocs où le terrain a été laissé tel qu'il était.

On voit donc que d'intéressants travaux restent à exécuter, en particulier lorsqu'on disposera le pont de la ligne n° 7 dont il faudra entrer les éléments par le souterrain correspondant, et lorsqu'on établira le souterrain de la ligne n° 8 entre les deux grands blocs comme piédroits, mais dans un terrain absolument aquifère.

On voit, en tout cas, que cet ouvrage représenté en perspec-

Fig.63




tive *(fig. 63)* comprend uniquement le croisement des trois lignes, et n'a rien à voir avec les stations qui seront établies en dehors de lui.

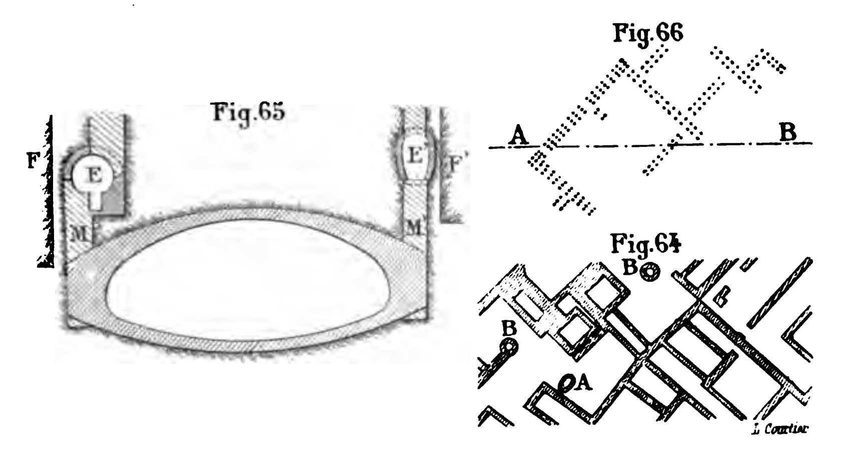
Entre la place de l'Opéra et la traversée du canal Saint-Martin, de même qu'entre ce dernier point et l'avenue Gambetta, il n'y a rien de bien particulier à signaler. Les travaux ont été exécutés à l'aide des diverses méthodes déjà vues avec, pour la première partie, toutes les difficultés résultant des conditions particulières du terrain, formé presque partout de remblais et d'éboulis d'anciennes carrières.

Sur tout le parcours de la rue Réaumur, on a rencontré une quantité considérable d'anciennes fondations, comprenant des murs pleins ou montés sur arc, et une quantité de puits BB, dont quelques-uns de forme elliptique A, assez curieusement appareillés *(fig. 64)*. Les fouilles sont descendues, la plupart du temps, au-dessous du fond de ces puits, dont on a mis les rouets à nu, et qu'on a trouvés entièrement à sec, ce qui indique un abaissement assez considérable du plan d'eau depuis l'époque relativement récente où ils étaient encore utilisés.

Dans certaines rues étroites, les culées des stations ne sont qu'à

0,45 m des immeubles voisins, et sont situées au-dessous de leurs fondations FF′ (*fig. 65*).

Au lieu de demander les autorisations spéciales pour reprendre toutes ces fondations en sous-œuvre, on a pris le parti de construire contre elles deux murs de protection latéraux MM′ se confondant à la base avec les culées de la station et montant de 1 à 2 m au-dessus de la base des fondations en question. Souvent, ces murs englobent les maçonneries d'anciens égouts secondaires EE′, qui ont été conservés et qui continuent à fonctionner.




A travers la station du Sentier et en biais par rapport a son axe AB, on a rencontré les anciens pilotis en chêne équarri, formant les fondations des fortifications de Philippe-Auguste (*fig. 66*), et d'ailleurs en fort mauvais état de conservation.

Au niveau du boulevard Sébastopol, la ligne n° 3 croise la future ligne n° 4, en passant par-dessous. On a profité des travaux en cours pour amorcer en même temps le souterrain de la ligne n° 4 au niveau de ce croisement.

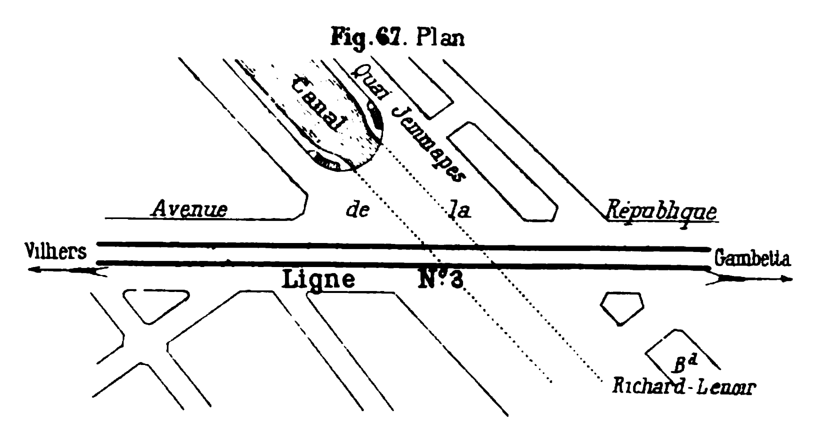
Pour gagner de la hauteur, on a remplacé la voûte en maçonnerie de la ligne n° 3 par un plancher métallique analogue à celui de la figure 60.

Enfin, on a dû passer sous le collecteur Sébastopol avec toutes les précautions usitées en pareil cas.

Les travaux relatifs à la traversée du canal Saint-Martin (*fig. 67 et 68*) ont été faits il y a longtemps, en profitant de la période de chômage du canal. La durée de cette période obligea à effectuer les 60 m situés sous le canal avec un avancement de 1 m par jour.

On a creusé des puits d'attaque PP' de chaque côté du canal. L'arrivée des matériaux et l'évacuation des déblais se faisaient au moyen d'ouvertures percées dans la voûte même; la traversée

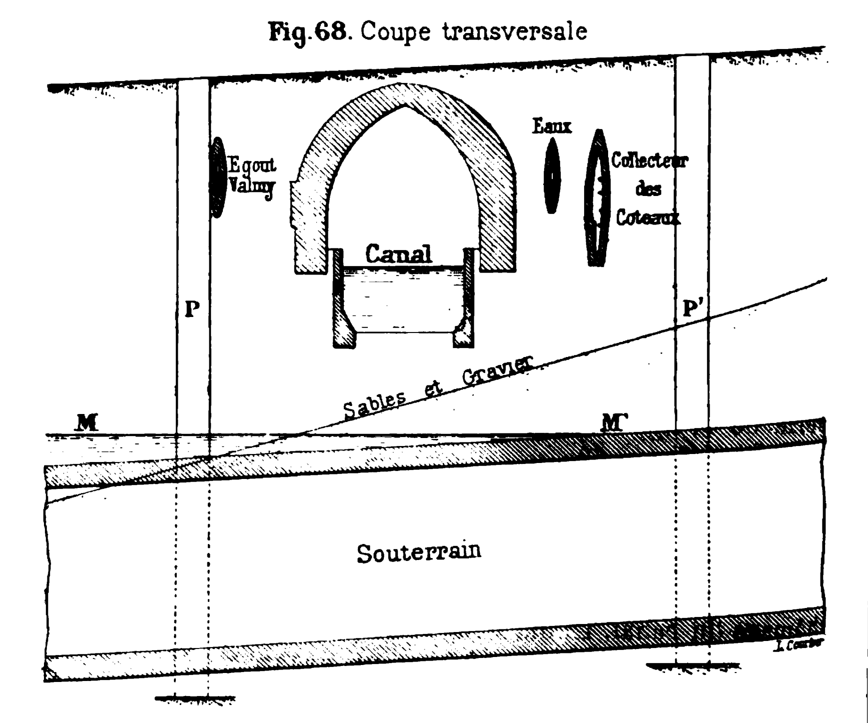
Fig. 67. Plan




s'est faite un peu au-dessous de la nappe souterraine MM' rencontrée à la cote 23,80.

Le canal ne possédait pas de radier et son fond était constitué

Fig. 68. Coupe transversale



par le sable naturel dans lequel il était creusé; on a dû le munir d'un radier étanche en béton armé de 50 cm d'épaisseur.

Pour effectuer ce travail particulièrement délicat, le canal a été mis hors d'eau en construisant un batardeau à chaque extrémité et en épuisant; puis la voûte a été mise sur cintres, on a consolidé les piédroits par injections de ciment, et on a établi le radier en ciment armé.

Au niveau du Boulevard de Ménilmontant, la ligne n° 3 passe au-dessus de la circulaire Nord et est mise en communication avec elle par un raccordement de service à voie unique; l'échange des voyageurs se fait souterrainement par des couloirs et escaliers *(fig. 55)*.

Nous arrivons ainsi à la partie située entre la station de Ménilmontant et le terminus de la place Gambetta, sur laquelle nous insisterons un peu, étant données les difficultés particulières qu'y ont présentées les travaux.

Entre les stations Ménilmontant et Martin-Nadaud, la ligne est construite dans des remblais qui ont pris la place du gypse anciennement exploité. On a procédé par une galerie centrale et on a construit la voûte de la façon ordinaire; on a foncé ensuite de chaque côté, et, de distance en distance, des puits qu'on a descendus jusqu'au gypse compact et c'est sur ces puits réunis qu'on a bâti alternativement les piédroits. Le profil en long *(fig. 69)* comporte partout la rampe maxima de 4 0/0.

A partir de la station Martin-Nadaud jusqu'à la station Gambetta, y compris la boucle terminus et les deux voies d'amorce, on a rencontré les terrains les plus difficiles qu'on ait rencontrés jusque-là. On trouvait, en effet, des poches de « sables boulants » qui, imbibés d'eau, se frayaient passage à travers les moindres interstices avec une poussée irrésistible, et pour ainsi dire sans limite de débit. Ces sables, une fois privés de l'eau qui les imbibe, forment, au contraire, un terrain d'une très bonne tenue; c'est sur cette observation qu'a été basé le principe de construction de tous les ouvrages dans ces parages.

On a commencé par assainir toutes ces poches à l'aide de puits aussi profonds qu'il le fallait, desquels on extrayait l'eau d'une façon continue.

On fonçait d'abord dans le bon sol formé de terre glaise, à l'aide d'un forage en tube de tôle de 40 cm de diamètre.

On établissait autour de ce tube un puits carré entièrement boisé, avec cette particularité que c'était le cadre supérieur,

établi en conséquence, qui soutenait tous les boisages verticaux, ainsi que les cadres inférieurs placés tous les 1,50 m. Le tube central en tôle était coupé au fur et à mesure de la descente, mais le tuyau d'épuisement d'eau continuait toujours à plonger jusqu'au fond.

Arrivé à 2 m environ, sous le plan d'eau, point à partir duquel les sables boulants deviennent dangereux, le travail était de plus en plus difficile, et on devait établir au fond du puits un coffrage horizontal en planches jointives maintenues par des ma-

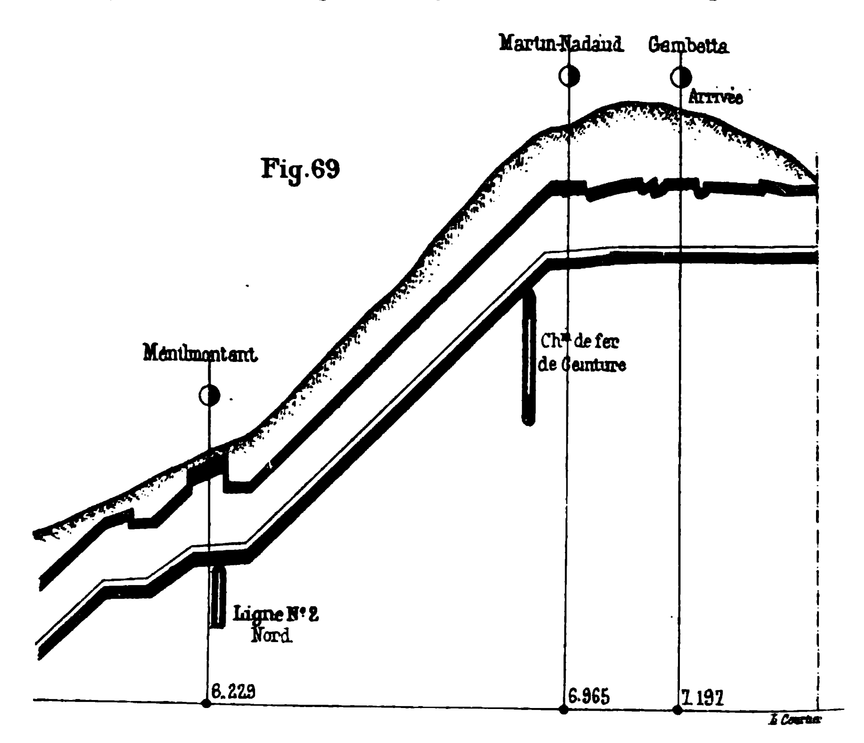


Fig.69

driers; on les enlevait une à une, on extrayait très rapidement le sable sur une profondeur qui ne dépassait pas 3 ou 4 cm, et on replaçait la planche pour passer à la suivante.

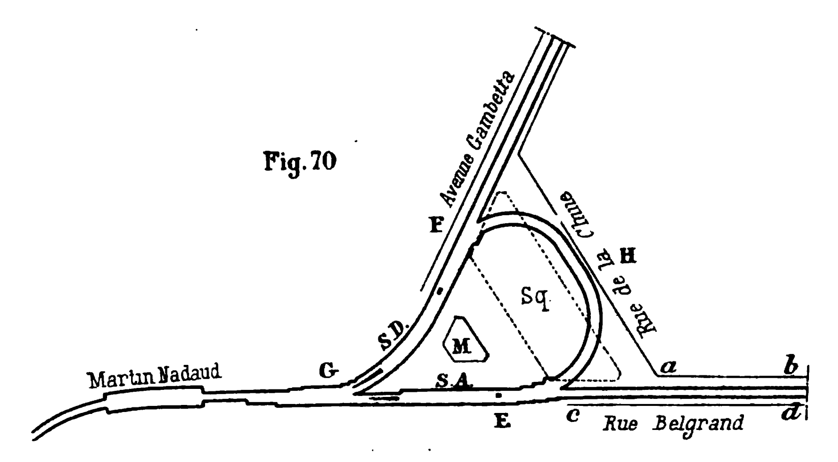
Mais la masse de sable qu'on extrayait ainsi, et qui provenait des couches supérieures, produisait derrière les parois du puits des vides qui amenaient rapidement la dislocation des boisages. On était obligé de creuser, de distance en distance, dans les parois verticales, des ouvertures de petite section, dans lesquelles on introduisait de la terre glaise qui, entraînée par les sables boulants, finissait par produire une espèce de colmatage

qui les empêchait de passer à travers les interstices des planches.

Une fois arrivé au terrain solide, après avoir vaincu ces difficultés, on forçait pendant quelque temps l'épuisement, et on maçonnait rapidement jusqu'au-dessus du plan d'eau.

Dans certains de ces puits, l'afflux des sables boulants était tel que souvent, on n'avançait que de quelques centimètres par 24 heures.

L'ensemble des ouvrages, qui forme le terminus de la place Gambetta, se compose *(fig. 70)* d'une boucle fermée qui contourne




la mairie du XX^e arrondissement et de deux prolongements se dirigeant l'un, par la rue Belgrand, vers un dépôt de matériel qui est en ce moment en construction, l'autre, par la rue Gambetta, qui est l'amorce d'un prolongement ultérieur de la ligne n° 3 jusqu'aux fortifications.

Il existe donc trois culottes de raccordement :

La première G, ou culotte Gambetta, est à l'entrée de la boucle; les deux autres E et F, ou culottes du Cher et des Gatines, raccordent la boucle au deux prolongements ci-dessus indiqués.

On rencontre, sur chacune des branches de la boucle, la station d'arrivée et celle de départ.

La culotte Gambetta commence avec une portée de 8,50 m pour atteindre 17,78 m.

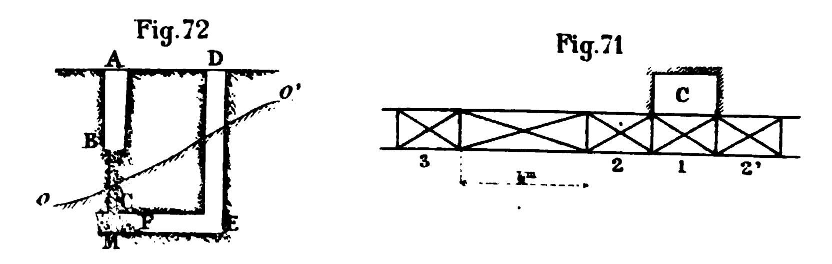
On construisit d'abord des galeries latérales ayant la dimension des piédroits, dans lesquelles on maçonna ces derniers; lorsqu'on se trouvait dans des poches de sables boulants, on remplaçait les galeries par des puits de 2 m de longueur avec 6 m d'inter-

valle, et qui étaient foncés comme ci-dessus. On procédait en quinconce en fonçant d'abord les puits 1 et 5, puis le puits milieu 3 et, enfin, les puits intermédiaires 2 et 4.

La culotte du Cher a été faite, comme celle des Gâtines, en bon terrain de marnes et argiles et a été exécutée en galerie, pour les piédroits, et par la méthode ordinaire pour la voûte.

Les stations se trouvent en bon terrain et ont été faites par puits ouverts tous les 7 à 8 m, réunis entre eux par une galerie au niveau des piédroits. Une fois ceux-ci établis, la voûte était exécutée par les moyens habituels.

Le raccordement rue Belgrand s'est trouvé entièrement dans les sables boulants dont le niveau descend au-dessous du radier; on a commencé par établir un caisson à air comprimé C de 2 m sur 3, qu'on a foncé jusqu'au terrain solide, et qui a servi de puisard principal pour assainir tout le voisinage (*fig. 71*); on a alors construit le puits 1, le puits 2 et, en laissant un intervalle de




4 m, le puits 3. Cette distance permettait d'établir les puits sans trop disloquer le terrain intermédiaire.

Lorsque ce dernier était assaini, on procédait soit par puits intermédiaires juxtaposés, soit par galeries, suivant l'état de solidité des couches voisines.

On a commencé, dans la rue Belgrand, par la rive *ab* (*fig. 70*) située du côté où affluaient les sables. Lorsque les piédroits ont été ainsi établis, ils ont formé une sorte de digue qui a permis d'assainir très facilement l'autre côté *cd*, où l'on a pu se contenter de puits espacés de 2 m, le reste étant construit en galeries.

La partie de la boucle, rue de la Chine, entre les culottes du Cher et des Gâtines, a rencontré une poche de sables boulants si profonde qu'il a été impossible de creuser le puits d'essai jusqu'au terrain solide, bien qu'on fût arrivé à 17 m au-dessous du sol, après avoir traversé une épaisseur de 11 m de sables bou-

lants. On a dû abandonner ce puits AB et en commencer un autre DE dans un endroit où le sable était moins profond, avec toujours les moyens d'épuisement indiqués plus haut.

Arrivé dans le bon terrain, on a poussé une galerie horizontale EF jusqu'en dessous du premier puits, et on a rempli l'extrémité de cette galerie par un massif M en pierres sèches; on a alors effectué, dans le premier puits, un forage BC jusqu'à la rencontre de ce massif, et on a enlevé le tube de forage après l'avoir toutefois rempli de cailloux *(fig. 72)*.

Au fur et à mesure qu'on fonçait le puits, l'eau s'écoulait dans les cailloux qui remplaçaient le forage, puis dans le massif en pierres sèches de la galerie, à la base duquel elle était épuisée à l'aide de pompes mues par l'électricité.

Au bout d'un temps assez long d'épuisement on a pu abaisser le plan d'eau, d'une manière suffisante, pour arriver à construire le puits voisin. Dans cette figure, OO′ représente la surface du bon sol au-dessus duquel sont les sables boulants.

Dans tous ces ouvrages, le radier a été fait par les moyens ordinaires; son exécution n'a présenté aucune difficulté, une fois le terrain assaini.

Toutefois, pour éviter une sous-pression ultérieure qui tendrait à produire des infiltrations ou même à le soulever, on a établi sous tout le radier un drain en poterie de 30 cm avec une série de ramifications allant jusqu'aux piédroits.

Ce drain aboutit à un point bas situé rue Belgrand où on a construit un puisard à double compartiment recevant, l'un les eaux de surface, et l'autre les eaux provenant des sables boulants. On continuera, même une fois la ligne en exploitation, à épuiser ce puisard double d'une façon ininterrompue, à l'aide de pompes.

Partout la voûte a été faite par la méthode ordinaire, avec galerie centrale et abatages latéraux.

On y a ménagé, à l'aide de drains en poterie ou métalliques, comme du reste dans tous les passages en terrain humide, des trous qui la traversent de part en part, dans lesquels on a fait postérieurement des injections de ciment à l'air comprimé. Les trous étaient situés tous les 1,50 m environ en quinconce.

Enfin, sur toute la surface intérieure de la voûte, on a creusé des conduits de 8 cm de profondeur en forme de feuille de fougère, dans lesquels on disposait soit de petites gouttières en zinc, soit des demi-tuyaux en caoutchouc, qu'on recouvrait ensuite d'un enduit de ciment.

Tous ces petits conduits aboutissent à des canaux plus grands situés dans les piédroits et qui pénètrent jusque sous le radier pour se déverser dans le drain dont il a été parlé plus haut.

On voit par le simple exposé précédent, quelles difficultés d'ensemble, sans parler de celles de détail, on a rencontrées dans les travaux de ce terminus de la ligne n° 3. C'est ce qui explique, du reste, le retard apporté à la mise en exploitation de ce tronçon.

# LIGNE N° 2 SUD

## PARTIE COMPRISE ENTRE LE TROCADÉRO ET LA PLACE D'ITALIE

### **Profil géologique** *(Pl. 105).*

De la place de l'Étoile à la place du Trocadéro, cette ligne passe insensiblement des sables de Beauchamps au calcaire grossier.

De la place du Trocadéro à la Seine, la ligne s'infléchit pour passer du calcaire grossier supérieur au calcaire grossier inférieur et touche au niveau du *Cerithium giganteum*.

Dans ce parcours, la couche du « banc vert à empreintes végétales » atteignait 0,45 m environ.

Les fondations du pont de Passy reposent sur la marne fossilifère de Meudon, après avoir traversé les alluvions modernes limoneuses et fossilifères de la Seine, les sables, puis l'argile plastique réduite à quelques mètres d'épaisseur.

De la Seine au boulevard Pasteur, les fondations du viaduc sont restées dans les alluvions anciennes, sables et graviers de Seine.

Au boulevard Pasteur, le tunnel pénètre dans le calcaire grossier supérieur qu'il ne quitte pas jusqu'à sa sortie, boulevard de l'Hôpital, presque en face de la Salpêtrière. Boulevard Pasteur, on a atteint le niveau des carrières souterraines.

Le sommet de la place d'Italie est formé par les sables de Beauchamps, dans lesquels on retrouve des dépôts d'une ancienne terrasse de la Seine (graviers et sables argilo-ferrugineux).

A la traversée de la vallée de la Bièvre, boulevard d'Italie, les sondages ont trouvé la nappe d'eau à la cote 29,80, celle de la Seine, au pont d'Austerlitz, étant de 27,30.

## Renseignements généraux.

La ligne n° 2 Sud part de la place de l'Étoile et, une fois achevée, aboutira à la place de la Nation en suivant les boulevards extérieurs. Elle se terminera à chaque extrémité par une boucle fermée. On trouve son plan *(fig. 73)* et son profil en long *(Pl. 104)*.

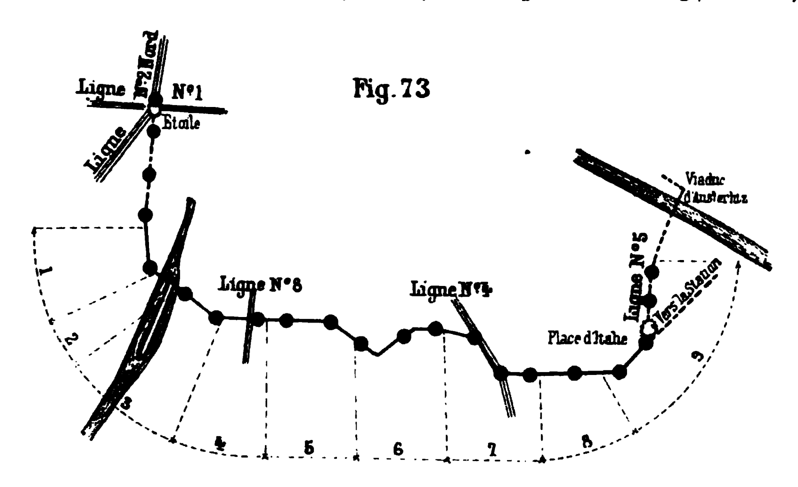


Fig. 73

Primitivement, elle aboutissait aux environs de la gare de Lyon en englobant une fraction de la ligne n° 5 entre cette gare et la place d'Italie.

Mais la fraction Place d'Italie-Place de la Nation, primitivement dénommée ligne n° 6, peut être considérée comme incorporée dans la ligne n° 2 Sud, dont elle forme l'extrémité, tandis que la fraction Place d'Italie-Gare de Lyon a été restituée à la ligne n° 5.

La ligne n° 2 Sud, entre l'Étoile et la place d'Italie, a une longueur de 8 969 m.

Son amorce, Étoile-Trocadéro, a été exécutée dès l'année 1900 en vue de l'Exposition, et a été décrite en même temps que la ligne n° 1.

La partie entre le Trocadéro et la place d'Italie est actuellement construite, à l'exception du viaduc de Passy dont la maçonnerie formait un lot spécial et dont la partie métallique a été mise au concours.

La ligne n° 2 Sud rencontrera sur son parcours les autres lignes métropolitaines aux points indiqués sur le plan.

On y trouvera également la division en sections et lots pour l'exécution des travaux.

Les tableaux-annexes donnent les dépenses ainsi que les noms des Ingénieurs et Entrepreneurs.

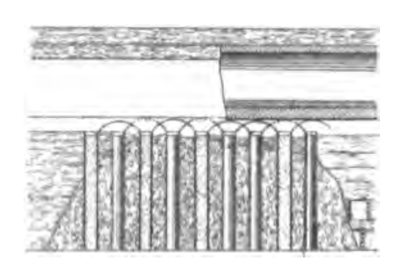
Le profil en long indique les parties en souterrain et en viaduc.

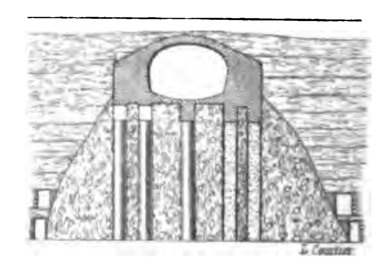
La partie en viaduc sur la vallée de la Seine est de 2516 m, celle sur la vallée de la Bièvre, de 866 m.

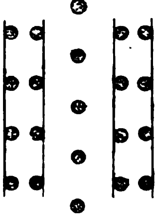
Les travées du viaduc sont normales, à l'exception de deux de 35 m et de quatre de 44,73 m.

La ligne n° 2 Sud, entre le Trocadéro et la place d'Italie, a nécessité relativement peu de déplacements d'égouts. On a dû toutefois procéder à de nombreuses consolidations du sous-sol,

Fig. 74







car elle passe, surtout dans sa partie souterraine, sur les Catacombes, pendant près de 4 km. On a dù établir, dans les anciennes carrières bien conservées, au-dessous des piédroits, des piliers de soutènement, distants de 4 m les uns des autres et d'un diamètre de 1,20 m. à 2 m. Dans les carrières dont le ciel s'est éboulé en produisant des fontis, on a procédé par puits remplis de béton *(fig. 74)*, disposés en quinconce et reliés entre eux par des arcs sur lesquels reposent les piédroits dont l'épaisseur a été sensiblement augmentée ; la dépense relative à ces consolidations a atteint près de 2 millions, soit 500000 f par kilomètre, correspondant à près de 45000 m³ de maçonnerie.

## Description détaillée des travaux.

Entre le Trocadéro et la station du quai de Passy (rue Alboni), il n'y a rien d'intéressant à signaler.

La station du quai de Passy est unique en son genre, en ce sens qu'elle est juste située à la transition du tunnel et du viaduc, et que ses quais sont, partie en souterrain couvert d'un tablier métallique, partie en tranchée ouverte, partie sur viaduc.

On y accède, d'une part, par la rue Alboni, d'autre part, par des escaliers destinés à compenser la différence de niveau qui existe entre la station et le quai de Passy.

Les travaux d'établissement de cette station et de la partie du souterrain qui la précède ont présenté des difficultés particulières dues au terrain rencontré.

En effet, toute la partie supérieure de la rue Alboni est bâtie sur le calcaire grossier reposant sur un banc d'argile plastique d'une quinzaine de mètres *(fig. 75)*, sur laquelle reposent des remblais atteignant jusqu'à 18 m.

Fig. 75

C'est dans les éboulis ci-dessus indiqués qu'a été construite la station Alboni.

On a dû employer un système de fondations spéciales dont nous dirons quelques mots.

Toute la partie recouverte en tablier métallique est construite sur des voûtes d'arête qui reposent elles-mêmes sur des lignes de puits qu'on a foncés jusqu'au bon sol. Les voûtes ont été construites sur le terrain lui-même comme cintre.

Quant aux puits, on a commencé par tracer dans l'axe de la station une galerie centrale GG *(fig. 77)*. De distance en distance, on a branché sur cette galerie centrale des galeries latérales perpendiculaires C' aboutissant juste au-dessus des points de fonçage des puits. On creusait alors jusqu'au bon sol le puits P en question sur une section carrée de 1,20 m de côté et on le remplissait de béton. Ensuite, on fouillait sur une certaine distance de chaque côté de ce puits pour obtenir une longueur totale d'à peu près 3,50 m, et on prolon-

geait la maçonnerie de façon à former de chaque côté une sorte d'encorbellement EE. On joignait deux encorbellements successifs par une partie centrale V établie sur cintre en terre, et on obtenait ainsi, suivant la ligne des piédroits ou culées, une sorte de mur longitudinal à larges ouvertures en arc (*fig. 76*). Sur ce mur, on construisait la voûte par anneaux successifs en commençant par ceux situés au-dessus des puits et des encorbellements, et en terminant par ceux reposant sur les parties intermédiaires.

Fig. 76



Fig. 77

Le stross une fois enlevé, on terminait très facilement les piédroits, entre les puits, en remplissant les larges ouvertures précédemment décrites, et on finissait par le radier, qui avait lui-même la forme d'une voûte surbaissée R prenant ses points d'appui sur le béton qui remplissait les puits.

Un problème d'ordre particulier s'est également posé pour soutenir les terres en bordure des escaliers d'accès, tout talus naturel étant rendu impossible par suite de la non-expropriation des terrains voisins. Ces terrains étaient donc à pic et, de plus, on disposait d'une épaisseur beaucoup trop faible pour construire un mur de soutènement normal.

Ce procédé, dit « Mur en balance », repose sur les données suivantes (*fig. 78*) :

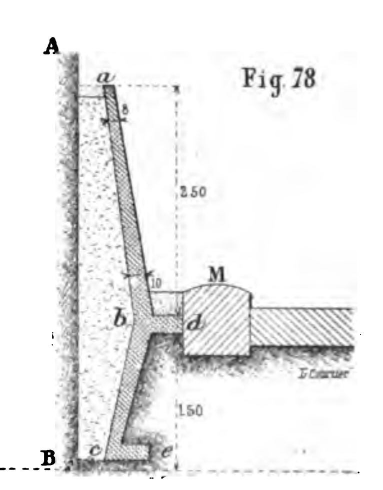
Il s'agissait de maintenir le terrain vertical AB.

A une certaine distance de ce terrain se trouvait un massif solide M, composé de soubassements d'escaliers, et de divers murs, qui formait un point d'appui absolument rigide, nécessaire, comme on va le voir, au système employé.

Une fouille était faite sur une largeur relativement faible, à droite des terres à soutenir, et on y construisait un mur *abc*, en

ciment armé, ayant en section transversale la forme générale d'un fléau de balance de 8 cm d'épaisseur aux extrémités et de 10 cm au milieu, dont la grande branche avait 2,50 m de haut et la petite 1,50.

Au niveau du point d'appui dont il a été parlé plus haut, on établissait une sorte d'arête *bd*, de 10 cm d'épaisseur, perpendiculaire au fléau, et venant buter contre le massif M. On remblayait ensuite en terre bien pilonnée la partie située entre les terres à soutenir et le mur en ciment armé. Le petit bras du fléau était terminé lui-même par une semelle *ce* ayant la même direction que l'arête médiane.




On voit immédiatement que si une poussée se produit vers le haut des terres, le mur tend à basculer, mais est maintenu par la branche inférieure du fléau qui vient presser contre la base du remblai.

S'il s'agit, au contraire, d'une poussée centrale ou inférieure, il vient buter, par l'intermédiaire de l'arête *bd*, sur le massif M.

Cette solution est, comme on le voit, assez élégante et a l'avantage de n'occuper qu'un espace extrêmement faible. Il est toutefois bien certain qu'elle est intimement liée à la double condition que les bras du fléau ne puissent pas casser aux environs de l'arête *bd*, sous l'influence de la poussée, et que cette arête elle-même ait une résistance suffisante pour subir soit cette poussée, soit l'effort du bras de levier qui, à certains moments, peut s'exercer sur elle.

Après la station précédente, commence immédiatement la partie en viaduc qui aboutit, à peu de distance, à la culée rive droite du pont de Passy, et nous arrivons ainsi à ce très important ouvrage.

La construction du Métropolitain ayant entraîné la suppression de la passerelle à piétons de Passy, on en a profité pour la remplacer par un pont comportant non seulement le viaduc proprement dit du Métropolitain, mais encore deux voies charretières et quatre trottoirs.

Le projet adopté comprend, en partant de la rive droite :

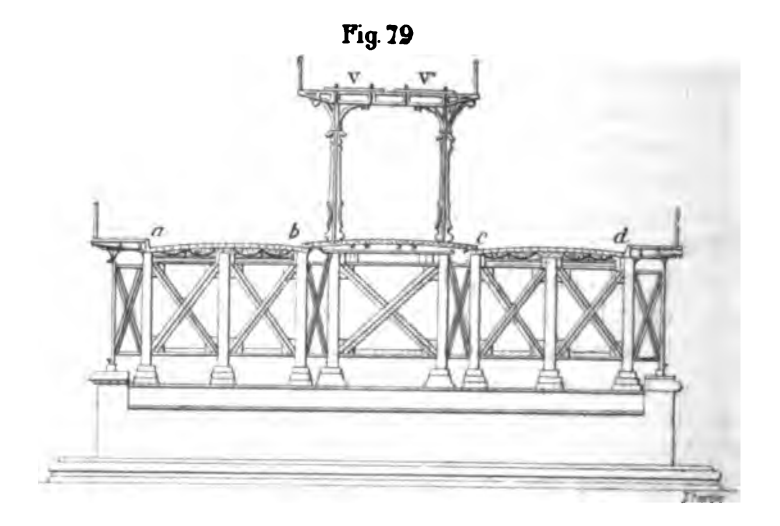
1° Cinq travées droites continues d'une longueur totale de 86,60 m prenant à la pile extrême de la station du quai de Passy et aboutissant à la culée du pont ;

2° Un pont charretier sur le grand bras de la Seine, comportant une travée centrale de 54 m et deux travées de rives de 30 m, soit en tout 114 m ;

3° Un pont charretier sur le petit bras de la Seine, semblable au précédent, mais avec une travée centrale de 42 m et deux travées de rives de 24 m, soit en tout 90 m.

Ces ponts ont une largeur de 24,70 m entre garde-corps, se divisant en un trottoir central de 8,70 m, deux chaussées laté-

Fig. 79




rales *ab*, *cd*, de 6 m chacune, et deux trottoirs latéraux de 2 m chacun.

Ils supportent, dans leur partie centrale, monté sur des colonnes de 3,50 m de haut, un tablier supérieur de 7,30 m de large, sur lequel sont établies les deux voies du Métropolitain VV' *(fig. 79)*.

4° Sur la rive gauche de la Seine, deux travées métalliques, l'une, de 57,40 m, pour la traversée des lignes de l'Ouest, l'autre, de 22,85 m, aboutissant au commencement du viaduc courant, à la station du quai de Grenelle.

L'ensemble a donc une longueur d'environ 400 m.

Il est à noter que ce pont est biais et que son axe forme un

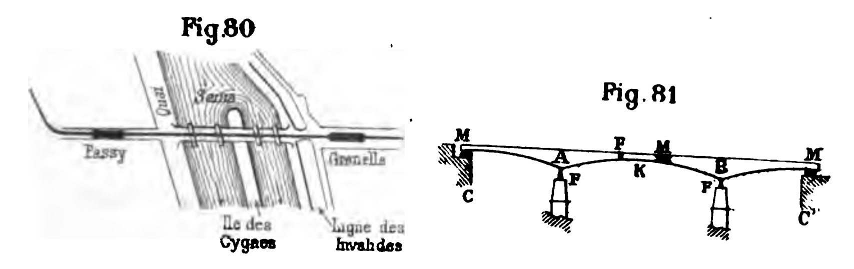
angle de 75 degrés avec le fleuve. Toutes les maçonneries sont donc biaises. Le plan de l'ouvrage est donné *(fig. 80)*.

Au point de vue construction, le pont en lui-même se compose de dix fermes longitudinales à membrures supérieures droites et inférieures courbes.

Les travées de rive forment des culasses AB prolongées par des encorbellements de 21 m sur lesquels s'appuie une travée centrale ou « cantilever » K de 12 m, soit 21 + 12 + 21 = 54 m.

Les deux fermes centrales, établies en conséquence, et espacées de 4,40 m, supportent directement les colonnes portant le tablier supérieur. Ces colonnes n'étant distantes que de 6 m sont peu massives et ont un aspect extrêmement léger.

Les chaussées sont supportées dans la travée centrale par des tôles cintrées et, dans les culasses, par des voûtes en briques de 1,50 m de portée. Elles seront pavées en bois avec épaisseurs respectives de 16 et 26 cm de béton.




Les petites travées centrales indépendantes ou « cantilever » sont assemblées aux encorbellements par des rotules portant, à une de leurs extrémités, sur des rouleaux de dilatation.

Les fermes reposent sur la maçonnerie par l'intermédiaire d'appuis fixes à rotules F, pour les piles, et d'appuis mobiles M à rotules, pour les culées. La figure 81 montre le schéma du pont sur le grand bras.

Le pont supérieur, qui porte le Métropolitain, est formé d'entretoises transversales distantes de 6 m, assemblées à la partie supérieure des colonnes, reliées par quatre longerons sous les rails et prolongées par des consoles portant les longerons des garde-corps.

La figure 82 montre la vue générale du pont sur le grand bras; la figure 79 une coupe transversale à plus grande échelle.

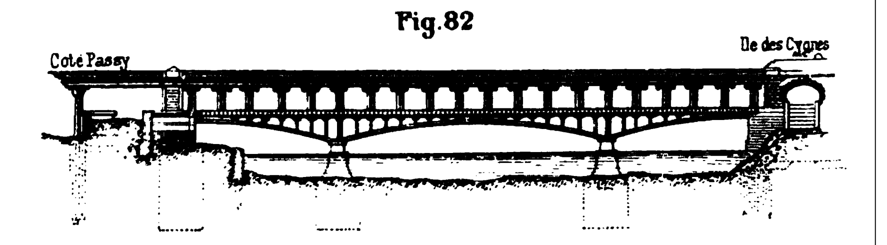
Le tablier est entièrement couvert par un platelage étanche en tôle qui assure la liaison de ces différentes pièces.

Au point de vue des fondations, les deux culées, rive droite et rive gauche, ont été fondées à l'air comprimé, à l'aide d'un caisson de 30 m sur 8,50 m, et le massif de fondations a été arasé à la cote 27,30, soit à 20 cm au-dessus du niveau normal de la Seine à cet endroit.

La culée centrale de l'Ile des Cygnes est fondée sur pilotis et repose sur 600 pieux enfoncés à une profondeur de 8 à 10 m et recouverts d'une couche de 2 m de béton dans laquelle leur tête est noyée de 0,50 m environ. Ce massif a été arasé à la cote 25,50.

Les piles en rivière ont été foncées à l'air comprimé, à l'aide

Fig.82




de caissons de 32,50 m de long sur 7 m de large, les massifs des fondations étant arasés à la cote 22.

On n'a pas dépassé la pression de 1,6 kg correspondant à une profondeur de 16 m sous l'eau, les fondations ayant été faites à la cote 11, sur les marnes situées directement au-dessus de la craie.

Au point de vue de l'exécution, les deux culées, reposant sur un terrain assez résistant, ont été fondées facilement par la méthode ordinaire consistant à emplir complètement les caissons de maçonnerie.

Il en a été autrement pour le premier caisson de piles. En effet, la partie inférieure de ce caisson, après avoir traversé une couche de sable qui existe sous le fond de la Seine, est entrée dans les argiles et marnes qui se trouvent immédiatement au-dessus de la craie.

La pénétration dans ce terrain s'est trouvée tellement facile que le caisson était toujours trop lourd, bien qu'on tînt toujours le niveau de la maçonnerie à 4 m environ au-dessous du niveau de l'eau et qu'on laissât même un large évidement dans le milieu de cette maçonnerie.

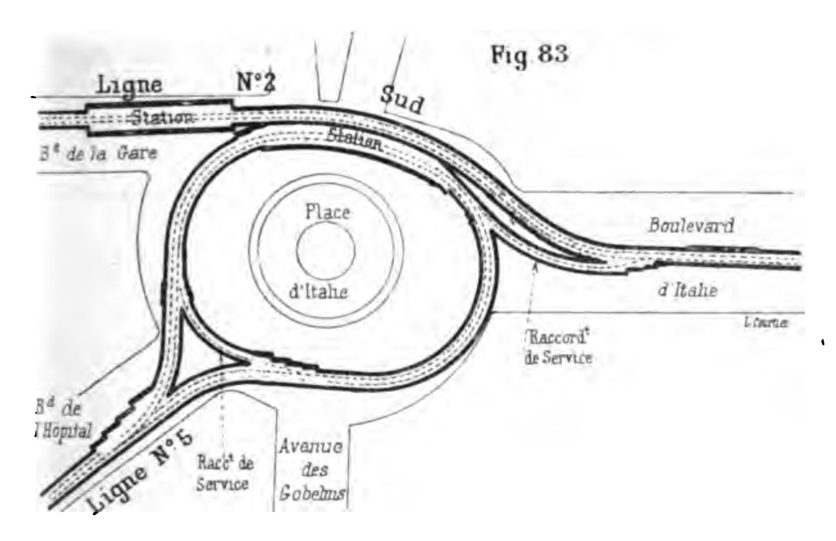
La descente était tellement rapide que la chambre de travail

n'était jamais déblayée et que les terrains inférieurs y remontaient souvent d'une façon très gênante.

Pendant ce temps, les 4 m de tôle qui empêchaient la pénétration de l'eau étaient étayés à l'intérieur à l'aide de boisages.

Un jour, par suite d'un remous un peu brusque, ces boisages se sont disloqués, sont tombés à l'intérieur, ainsi qu'une partie des tôles, et le caisson a été immédiatement envahi. On a été obligé de l'entourer d'un batardeau pour pouvoir le déblayer.

On n'a pas, du reste, pu continuer à l'enfoncer par la méthode ordinaire, et on l'a repris, en sous-œuvre, dans la chambre de travail, par puits, en commençant par les extrémités et en continuant alternativement.




Cette reprise a été faite en béton et la partie supérieure a été terminée à l'abri du batardeau.

A la suite de cet incident, et pour remédier à l'enfoncement trop rapide des caissons, on a résolu de construire tous les autres en laissant dans la maçonnerie de très larges vides qui, en diminuant le poids, ont permis un enfoncement régulier.

La partie située entre le viaduc de Passy et la place d'Italie ne comporte aucune particularité, à part les consolidations de terrains dont il a été parlé plus haut. Elle a été exécutée, tant en souterrain qu'en viaduc, par les méthodes déjà vues pour les autres lignes.

Les ouvrages assez importants de la place d'Italie méritent seuls d'appeler l'attention (*fig. 83*).

Tangentiellement à la ligne n° 2 Sud, qui se prolonge vers la place de la Nation, se trouve la boucle terminus de la ligne n° 5, qui fait tout le tour de la place pour se fermer suivant la direction du boulevard de l'Hôpital. Les deux branches de cette boucle sont réunies, comme dans les boucles déjà vues, par un raccordement à voie unique, et un autre raccordement du même genre réunit la boucle à la ligne n° 2 Sud de façon à assurer l'échange du matériel entre les lignes n° 2 Sud et n° 5. Ces divers raccordements donnent lieu à des ouvrages à retraits successifs ou « culottes » analogues à ceux des autres lignes.

Nous terminons ici notre travail que nous avons limité aux lignes ou portions de lignes terminées ou du moins très près de l'être. Nous donnerons dans les annexes qui suivent quelques tableaux renfermant les renseignements et chiffres qui nous ont paru les plus intéressants.

---

ANNEXE N° 1.

## Composition des bétons, mortiers et enduits généralement employés. Revêtements intérieurs.

Presque toutes les maçonneries ont été exécutées en béton de ciment, meulière, pierre de Souppes et d'Euville; très rarement en moellon dur et briques.

Le hourdis était en ciment de Portland ou de laitier; l'enduit intérieur du souterrain en ciment de Vassy pour la voûte et de Portland pour les piédroits et le radier.

Les stations étaient revêtues intérieurement soit de briques creuses émaillées employées dans le premier lot de la ligne n° 1, soit de produits émaillés blancs, biseautés ou non, employés sur tous les autres lots.

Nous donnons ci-après la composition des principaux enduits, mortiers et bétons.

*Béton :*

| | |
|---|---|
| 0,80 $m^3$ | cailloux; |
| 0,55 $m^3$ | mortier de Portland ou de laitier. |

*Mortier pour béton* (mortier normal) :

| | |
|---|---|
| 1 $m^3$ | sable; |
| 450 kg | ciment de laitier; |
| ou 400 kg | ciment de Portland. |

*Mortier pour meulières* (mortier normal) :

| | |
|---|---|
| 1 $m^3$ | sable; |
| 350 kg | ciment de laitier; |
| ou 300 kg | ciment de Portland. |

*Enduits de la voûte :*

| | |
|---|---|
| 1 $m^3$ | sable tamisé; |
| 900 kg | ciment de Vassy. |

*Enduits des piédroits et du radier :*

| | |
|---|---|
| 1 $m^3$ | sable tamisé; |
| 650 kg | ciment de Portland. |

Les cailloux et le sable provenaient des alluvions de la vallée de la Seine.

Annexe n° 2.

## Comparaison des dépenses afférentes aux lignes n° 2 nord, n° 2 sud et n° 3.

*(Ces prix sont les prix d'estimation, le règlement final des comptes relatifs à ces lignes n'étant pas terminé.)*

| | LIGNE N° 2 NORD (non compris l'amorce Étoile-Dauphine) | LIGNE N° 2 SUD (du Trocadéro au boulevard S^t-Marcel) | LIGNE N° 3 |
|---|---|---|---|
| Travaux préparatoires | 6 856 000 | 3 260 000 f | 4 005 000 f |
| Adjudication (rabais déduit) | 18 587 000 | 20 347 000 | 14 299 000 |
| Travaux ne faisant pas partie de l'entreprise adjugée | 451 000 | 661 000 | 301 000 |
| Personnel et imprévus | 3 735 000 | 4 294 000 | 2 709 000 |
| Total | 29 629 000 f | 28 562 000 f | 21 314 000 |
| Longueur totale | 10 967 m | 8 505 m | 7 740 m |
| Prix au mètre | 2 702 f | 3 359 f | 2 754 f |

Annexe n° 3.

**Dépenses afférentes à la ligne n° 1,**

Y COMPRIS LES AMORCES ÉTOILE-DAUPHINE DE LA LIGNE 2 NORD ET ÉTOILE-TROCADÉRO DE LA LIGNE 2 SUD

*(Ces prix sont les prix réels résultant des règlements.)*

| | |
|---|---|
| Travaux préparatoires. . . . . . . . . . | 4 803 000 f |
| Travaux du chemin de fer proprement dit. | 28 955 000 |
| Raccordements de la voie publique. . . . | 1 847 000 |
| Personnel et imprévus. . . . . . . . . . | 2 709 000 |
| Total . . . . . . . . | 38 314 000 |
| Longueur . . . . . . . . . . . . . . . . | 14 008 m |
| Prix par mètre . . . . . . . . . . . . . | 2 735 f |

Annexe n° 4.

**Prix d'évaluation des divers ouvrages types au mètre courant.**

| | |
|---|---|
| Mètre linéaire de souterrain à deux voies, type normal en alignement droit ou en courbe d'au moins 100 m de rayon . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 240 f |
| Mètre linéaire de souterrain à deux voies, type élargi pour courbe de 50 à 99 m de rayon . . . . . | 1 300 |
| Mètre linéaire de souterrain à voie unique. . . . . | 760 |
| Mètre linéaire de tranchée couverte sous contre-allée . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 1 960 |
| Mètre linéaire de tranchée couverte sous chaussée. | 2 420 |
| Mètre linéaire de station voûtée . . . . . . . . . | 3 170 |
| Mètre linéaire de station à plancher métallique sous chaussée . . . . . . . . . . . . . . . . . | 4 530 |

N. B. — *Ces prix sont ceux du bordereau d'adjudication, et c'est sur eux que se produisent les rabais; ils ont légèrement varié d'une ligne à l'autre; ceux qui sont indiqués ci-dessus se rapportent aux lignes n° 2 sud et 3.*

ANNEXE N° 5.

## Tableau des Entrepreneurs qui ont exécuté les divers lots.

| NUMÉROS des LOTS | LIGNE N° 1 (compris Étoile-Dauphine et Étoile-Trocadéro) | LIGNE N° 2 NORD (non compris Étoile-Dauphine) | LIGNE N° 3 | LIGNE N° 2 SUD (Trocadéro-Place d'Italie) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | En régie. | Gonchon. | Fayaud. | Aubrun. |
| 2 | Dioudonnat, Baptiste et Pierre. | Gonchon. | Chagnaud. | Daydé et Pillé, Gonchon et Juste. |
| 3 | Dioudonnat, Joseph. | Legrand, Joseph. | Id. | Anciens Établissements Cail. |
| 4 | Adrien Weber. | Anciens Établissements Leclaire. | Allard. | Id. |
| 4 bis | | | Hallier. | |
| 5 | Adolphe Roche. | Moisant, Laurent, Savey et Cie. | Fonty. | Id. |
| 6 | Lamarre et Sentou. | Id. | Thouvard et Moine. | Coulange et Sentou. |
| 7 | Id. | Gonchon. | | Bénière. |
| 8 | Bénière et Coulange. | Dedeyn et Perchot. | | Baudet, Donon et Cie. |
| 9 | Bonnet. | Id. | | Weber. |
| 10 | Radenac. | | | |
| 11 | Bénière et Coulange. | | | |

ANNEXE N° 6.

## Direction des travaux.

### DIRECTION GÉNÉRALE.

M. BIENVENÜE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef, Chef du Service ;

M. BIETTE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef adjoint, chargé du Service central et des Études ;

M. LOCHERER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en Chef adjoint, chargé du Service extérieur.

### DIRECTION PAR LIGNES ET PAR SECTIONS.

| LIGNE N° 1 (compris Étoile-Dauphine et Étoile-Trocadéro). | Ingénieurs. |
|---|---|
| Section Est. — Lots n^os^ 1, 2, 3 . . . | M. BRIOTET, Ingénieur des Ponts et Chaussées. |
| Section Centre. — Lots n^os^ 4, 5, 6, 7 . . | M. LOCHERER, Ingénieur des Ponts et Chaussées. |
| Section Ouest. — Lots n^os^ 8, 9, 10, 11 . | M. POLLET, Ing. auxiliaire des Ponts et Chaussées. |

| LIGNE N° 2 NORD (de l'Étoile à la Nation). | Ingénieurs. |
|---|---|
| Section Ouest. — Lots n^os^ 1, 2, 3 . . . | M. POLLET. |
| Section Centre. — Lots n^os^ 4, 5, 6 . . . | M. LOCHERER. |
| Section Est. — Lots n^os^ 7, 8, 9 . . . | M. BRIOTET. |

| LIGNE N° 3 | Ingénieurs. |
|---|---|
| Section Ouest. — Lot n° 1 . . . . . . | M. POLLET. |
| Section Centre. — Lots n^os^ 2, 3, 4, 4 *bis*. | M. LOCHERER. |
| Section Est. — Lots n^os^ 5, 6 . . . . | M. BRIOTET. |

| LIGNE N° 2 SUD (du Trocadéro au boulevard S^t^-Marcel). | Ingénieurs. |
|---|---|
| Section Ouest. — Lots n^os^ 1, 6, 7 . . . | M. POLLET. |
| 4^e^ Section. — Lots n^os^ 2, 3, 4, 5. . | M. THOMAS, Ing. municipal des travaux de Paris. |
| Section Est. — Lots n^os^ 8, 9 . . . . | M. BRIOTET. |

Secrétaire général des Bureaux techniques : M. HERVIEU.

# TABLE DES MATIÈRES

# NOTE

SUR

# L'EMPLOI DE L'AIR SEC

## DANS LES HAUTS FOURNEAUX

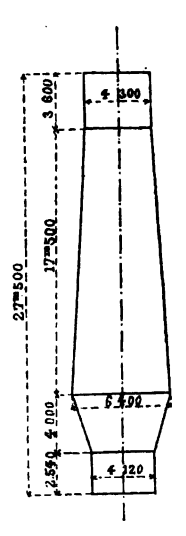
## d'après les essais de M. J. Gayley, à Pittsburg

PAR

M. A. GOUVY

---

La communication présentée par M. James Gayley à la réunion de l' « Iron and Steel Institute » à New-York, le 26 octobre 1904, exposant les résultats obtenus par lui dans un haut fourneau de Pittsburg, a fait immédiatement beaucoup de bruit dans le monde métallurgique, et l'on pouvait croire au premier abord à une évolution nouvelle de l'art des hauts fourneaux, comparable à celle amenée par le remplacement des appareils à air chaud en fonte par des appareils en briques.



Profil du haut fourneau de Pittsburg.

Les chiffres mentionnés par M. Gayley ont été vérifiés sur place par plusieurs Ingénieurs et doivent être considérés comme exacts.

Le haut fourneau de 27,50 m de hauteur totale, diamètres au creuset de 4 120 mm, au ventre de 6 400 mm, et au gueulard de 4 300 mm, d'une capacité totale d'environ 417 m³, était muni de douze tuyères de 152 mm et desservi par quatre appareils à air chaud dont le fonctionnement semble laisser beaucoup à désirer, si l'on considère que la température du vent n'était que de 400° C., c'est-à-dire correspondante à celle que l'on peut obtenir avec un bon appareil en fonte !

Trois machines soufflantes aspiraient, à 114 tours, 1 133 m³ de vent par minute, soit 163 152 m³ par vingt-quatre heures; la consommation de coke correspondante étant de 966 kg par tonne

de fonte pour une production moyenne quotidienne de 363,730 t, il en résulte que l'on passait au fourneau par vingt-quatre heures : $\frac{0,966 \times 363,730}{1\,000} = 351,4$ t de coke. La quantité d'air aspiré par les souffleries ne s'élevait par suite qu'à 4,6 m³ par 1 kg de coke, chiffre beaucoup trop faible, l'expérience ayant démontré depuis longtemps que pour la bonne marche d'un haut fourneau de grande capacité et pour obtenir le maximum de production avec le minimum de coke par tonne, il faut compter 6 m³ d'air aspiré par 1 kg de coke passant au fourneau.

Le fonctionnement du haut fourneau de Pittsburg était donc nécessairement défectueux à tous les points de vue et M. Gayley, croyant devoir attribuer les résultats peu économiques à l'humidité de l'air, a cherché à les améliorer par la suppression de cette humidité, ou du moins, par sa régularisation. Il a, en conséquence, installé des appareils frigorifiques, à chlorure de calcium, avec machines à ammoniaque et ventilateurs électriques, et a obtenu un refroidissement de l'air aspiré par les machines soufflantes à environ — 5 degrés; l'humidité de cet air se déposait sur les tuyaux des appareils frigorifiques sous forme de glace, et cette glace était à son tour enlevée par une circulation d'eau chaude après un certain temps de marche, ce qui était possible grâce à l'emploi de chambres de refroidissement travaillant alternativement.

L'air amené aux appareils par les ventilateurs contenait des proportions d'eau très variables, savoir en janvier de 1,6 à 7,5 g par mètre cube et en juillet de 11,5 à 20,2 g, ces teneurs variant aussi suivant les heures de la journée; à l'aspiration des machines soufflantes, la teneur en eau était réduite à 3-4 g environ par mètre cube.

Les résultats obtenus par cette dessiccation et par le contrôle de la marche du haut fourneau, pendant la durée des essais qui a été de quinze jours, sont résumés ci-contre.

Ces résultats sont, en effet, excellents, mais il est difficile d'admettre qu'ils soient dus uniquement à la dessiccation de l'air, comme on serait tenté de le supposer à première vue.

Tout d'abord la durée de l'essai parait trop réduite pour être probante, surtout dans un haut fourneau de 417 m³; on peut augmenter, en effet, les charges de minerai sans inconvénient pendant un certain temps, profitant de la chaleur existante dans un haut fourneau à allure trop chaude, mais ces fortes charges

ne peuvent être maintenues indéfiniment, et ce d'autant moins longtemps que le fourneau est plus petit.

| | AVANT DESSICCATION du 1er au 11 août | APRÈS DESSICCATION du 25 août au 9 sept. | DIFFÉRENCES |
|---|---|---|---|
| Charge de coke à 10,5 — 12,5 0/0 de cendres | 4590 kg | 4590 kg | constante. |
| Lit de fusion — Minerai à 53,5 0/0 Fe. . | 9000 kg | 10800 kg | + 1800 kg |
| Lit de fusion — Castine . . . . . . . . | 2250 kg | 2700 kg | + 450 kg |
| Lit de fusion — Total. . . . . | 11250 kg | 13500 kg | + 2250 kg |
| Production moyenne de fonte par vingt-quatre heures. . . . . | 363,73 t | 454,15 t | 0/0 + 90,42 t = 24,7 |
| Coke par tonne de fonte . . . . | 966 kg | 777 kg | — 189 kg = 19,5 |
| Température du vent aux tuyères | 400° C. | 466° C. | + 66° C. |
| Eau moyenne par mètre cube d'air aspiré avant les mach. soufflant. | 13 g | 4 g | — 9 g |
| Nombre de tours des soufflantes par minute. . . . . . . . . | 114 tours | 96 tours | — 18 tours |
| Volume d'air aspiré par minute . | 1133 m³ | 963 m³ | — 170 m³ |
| Force en chevaux indiqués totale. | 2700 IHP | 2013 IHP | — 687 IHP |
| Analyse des gaz du gueulard — Oxyde de carbone | 22,3 0/0 | 19,9 0/0 | — 2,4 0/0 |
| Analyse des gaz du gueulard — Acide carbonique. | 13,0 0/0 | 16,0 0/0 | + 3,0 0/0 |
| Température du gueulard. . . . | 280° C. | 190° C. | — 90° C. |

Une augmentation de 66 degrés de la température du vent est d'autre part facile à obtenir, surtout dans les limites très basses de 400 degrés seulement, dans lesquelles on se trouvait, par une simple surveillance et meilleur réglage des appareils à air chaud, c'est-à-dire indépendamment du refroidissement de l'air auquel on a eu recours; cette augmentation de température du vent de 66 degrés justifie du reste déjà à elle seule une réduction de la consommation de coke de 60 kg par tonne de fonte, chiffre minimum que nous avons établi par des expériences personnelles, largement confirmées par d'autres Collègues dans diverses usines. Dans le haut fourneau de Pittsburg, avec des appareils Cowper bien disposés et machines soufflantes de force suffisante, la température devrait pouvoir être portée facilement à 750 et même 800 degrés, ce qui eût produit d'une manière beaucoup plus simple une augmentation de production et une

économie de coke par tonne de fonte de 200 kg au minimum, c'est-à-dire plus élevée que celle de 189 kg déterminée par M. Gayley.

On a constaté aussi que les pertes, dues à l'entraînement avec les gaz du gueulard, de minerai menu, étaient réduites lors des essais de 5 0/0 à 1 0/0; ce fait influe de même sur la production et la consommation de coke; il est lié à la pression du vent, à l'épaisseur des charges de minerai et à l'humidité du minerai chargé, l'entraînement étant beaucoup moindre par les pluies que pendant la sécheresse, mais il est inadmissible que l'humidité du vent aux tuyères puisse avoir sur ce facteur une influence quelconque.

Les principaux effets produits par le refroidissement de l'air à — 5 degrés avant les souffleries peuvent, à notre avis, se résumer comme suit :

1° Le poids d'air et, par suite, la quantité d'oxygène par mètre cube de vent aspiré aux machines soufflantes sont plus élevés avec de l'air froid qu'avec de l'air à la température normale; c'est pourquoi le nombre de tours des souffleries a pu être réduit ainsi que le travail fourni par elles, dans une certaine mesure; en tous cas, cependant, il nous paraît évident que le haut fourneau de Pittsburg ne recevait pas assez de vent, ce à quoi le refroidissement a pu remédier en partie;

2° La force nécessaire aux soufflantes se trouve réduite, d'après les indications de M. Gayley, d'environ 680 ch; mais cette réduction est compensée par l'augmentation due aux appareils frigorifiques, évaluée à environ 540 ch; on ne peut donc guère tenir compte pratiquement de cette différence au point de vue de l'économie à réaliser;

3° La dessiccation du vent produit, par contre, une certaine concentration de chaleur dans l'ouvrage du haut fourneau, et c'est là l'économie principale qui nous semble due réellement au séchage de l'air insufflé.

L'effet produit par l'eau contenue dans les charges est pour ainsi dire nul dans les fourneaux de grande hauteur, cette eau s'évaporant naturellement pendant la descente des charges avant d'arriver à la zone des réactions; mais il n'en est pas de même de l'humidité de l'air arrivant par les tuyères, celle-ci réduisant en effet, par sa dissociation, la température de l'ouvrage où précisément cette température doit être la plus élevée possible et où elle se fait sentir le plus au point de vue de la consomma-

tion réelle de combustible. Or tous les calculs de bilans calorifiques démontrent que l'économie produite par le fait d'emploi de vent sec ne peut dépasser 3 à 4 0/0;

4° A un autre point de vue, la dessiccation de l'air permettant une teneur en eau plus constante du vent et, par suite, une combustion plus régulière, doit donner des résultats analogues à ceux obtenus, par exemple, par l'emploi d'un régulateur de température consistant en un appareil accumulateur de chaleur qui réduit à un minimum les oscillations de température du vent dues au renversement des appareils à air chaud.

Cette régularité peut donc être obtenue par un moyen plus simple et moins coûteux que celui des appareils frigorifiques, et ce par le régulateur à empilages ci-dessus, ou bien par l'emploi d'un plus grand nombre d'appareils à air chaud et d'une surface de chauffe plus grande, soit encore par le contrôle continu des températures du vent au moyen de pyromètres appropriés; ces pyromètres permettent, en effet, de maintenir la température du vent dans ses limites supérieures, variables suivant les appareils à air chaud dont on dispose, et de réduire les oscillations dues au renversement à 25 degrés au maximum, alors qu'elles atteignent souvent plus de 100 degrés;

5° La dessiccation du vent paraît cependant avoir encore une influence favorable sur les teneurs en soufre de la fonte, toutes choses égales d'ailleurs; c'est là un avantage réel fort bien mis en lumière par M. Le Chatelier, mais qui ne suffirait pas à justifier une installation d'appareils supplémentaires compliqués; on dispose en effet, pour réduire les proportions du soufre dans la fonte : de la castine d'une part, si on ne considère que le haut fourneau, et des mélangeurs, d'autre part, s'il s'agit de fontes Thomas.

Au point de vue de la pratique des usines, il s'agit d'évaluer pour chaque cas particulier les dépenses d'installation des appareils frigorifiques nécessaires, les frais d'exploitation et d'entretien supplémentaires qu'ils entraînent, et de les comparer à l'économie que produirait dans un haut fourneau l'application du procédé Gayley, abstraction faite des autres mesures à prendre pour arriver à un travail plus économique.

Si nous prenons comme base du calcul un volume d'air de 1000 m³ par minute à refroidir à — 5 degrés, ce chiffre correspondra à 60000 m³ d'air par heure, ce qui donne, à raison de

6 m³ d'air pour 1 kg de coke passé au fourneau, une consommation de 240 t de coke par vingt-quatre heures. Nous admettrons, pour simplifier, une consommation de coke par tonne de fonte de 1 000 kg, ce qui répond par suite à une production de 240 t de fonte par vingt-quatre heures.

Les dépenses totales d'installation des appareils destinés à traiter les 1 000 m³ d'air ci-dessus, et comprenant les compresseurs, les pompes, les chambres avec les tuyauteries, les bâtiments, ventilateurs, et tous éléments de rechange nécessaires, doivent être évaluées à *500 000 f*.

Les charges annuelles de l'exploitation sont, dans ce cas, les suivantes (1) :

| | |
|---|---|
| Main-d'œuvre annuelle totale, environ . . . . . . | 9 000 f |
| Fournitures de magasin, graissage, entretien . . . | 11 000 |
| 10 0/0 d'amortissement sur 500 000 f. . . . . . . | 50 000 |
| Soit un total annuel de. . . . . . . | 70 000 f |

ce qui, pour une production de fonte de 240 × 365 = 87 600 t par an répond à 1,25 f par tonne de fonte.

Si l'on admet, d'autre part, l'économie directe que peut produire la dessiccation par refroidissement du vent, avec son maximum de 4 0/0, soit 40 kg de coke à 25 f 0/00 par tonne de fonte, il en résulte une réduction de la dépense de combustible par tonne de (0,040 × 25) = . . . . . . . . . . . . . . 1,00 f

Ajoutant à la rigueur pour une économie relative de force motrice des soufflantes et pour réduction de frais généraux par suite d'une augmentation de production, environ. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 0,40

on trouve que l'économie totale réalisée ne dépasse guère . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 1,40 f

La différence de (1,40 — 1.25) = 0,15 f par tonne de fonte paraît donc très faible et ne justifierait que dans des cas exceptionnels la dépense d'installation de 500 000 f et la complication qui en résulterait pour l'exploitation.

Nous pensons donc que, dans la plupart des cas, on arriverait à des résultats économiques au moins aussi bons, sinon de beaucoup supérieurs, par des moyens techniques plus simples et moins coûteux dont les principaux peuvent être résumés comme suit :

(1) Les chiffres de main-d'œuvre et d'entretien correspondent à peu de chose près à ceux indiqués par M. C. V. Linde : *Stahl und Eisen*, n° 3, du 1er janvier 1905.

1° Appropriation plus judicieuse du profil des hauts fourneaux aux matières premières dont on dispose;

2° Puissance suffisante des souffleries, celles-ci étant généralement trop faibles en raison de l'hésitation si fréquente des usines devant une dépense de premier établissement qui peut paraître élevée à première vue, mais qui serait rapidement récupérée;

3° Augmentation de la surface de chauffe des appareils à air chaud et répartition convenable du gaz et du vent dans ces appareils, de façon à obtenir une utilisation maxima du pouvoir calorifique des gaz et une augmentation correspondante de la température du vent;

4° Épuration des gaz des hauts fourneaux par la suppression des poussières, cette épuration permettant de même d'assurer l'utilisation rationnelle de ces gaz dans les appareils à air chaud quels qu'ils soient;

5° Régularisation de la température du vent par une augmentation de la surface de chauffe dans des limites pratiques, ou bien par des accumulateurs de chaleur en briques, ou bien plus simplement encore par un contrôle régulier au moyen de pyromètres appropriés;

6° Une autre source d'économie toute naturelle et de beaucoup plus importante que toutes celles considérées ci-dessus, mais qui ne rentre plus dans le cadre de la présente note, doit être cherchée dans l'utilisation complète des gaz de hauts fourneaux dans des moteurs à gaz pour souffleries et stations centrales électriques, cette manière de procéder permettant aujourd'hui, sans aucune difficulté pratique, les applications les plus étendues de l'électricité dans les usines et la suppression successive de la plupart des machines à vapeur, si dispendieuses au point de vue de l'entretien et de la consommation de combustible sous les chaudières.

Nous croyons pouvoir conclure en toute sécurité de ce qui précède, qu'une usine qui aurait réalisé tout ou partie des desiderata que nous venons d'énumérer ci-dessus, au point de vue de l'installation des appareils à air chaud et des souffleries et des conditions d'exploitation, n'aurait plus aucun intérêt à créer des appareils frigorifiques dispendieux pour dessécher partiellement, à grands frais, de l'air qui est précisément destiné à être réchauffé ensuite à la température maxima possible avant son admission aux hauts fourneaux.

# DISCOURS PRONONCÉ AUX OBSÈQUES

DE

# M. A. LENCAUCHEZ

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

PAR

**M. E. CORNUAULT**

PRÉSIDENT DE LA SECTION DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES

---

Messieurs,

La Société des Ingénieurs Civils de France tient à adresser un suprême adieu à un des Membres de son Comité, à un des plus anciens Membres de la Société, qui, par les nombreux et importants travaux auxquels il s'est consacré, a fait le plus grand honneur à la profession d'Ingénieur civil.

M. le Président de la Société a bien voulu en charger le Président de la Section de Physique et Chimie industrielles, et c'est à ce titre que je prends la parole devant vous :

Alexandre Lencauchez, né, en 1833, à Domart-sur-la-Luce (Somme), était fils d'un instituteur communal; il acheva ses études scientifiques à la Faculté des Sciences de Paris. Il s'était formé seul, sans le bagage acquis dans une de nos grandes écoles.

Immédiatement après, à l'âge de vingt-deux ans, poussé par son goût pour la mécanique, il entra au bureau des études de M. Farcot, constructeur à Saint-Ouen, où il resta attaché de 1855 à 1856.

Il passa ensuite deux autres années au bureau des études de la voie à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, puis devint Ingénieur chef du bureau des études chez M. Decoster, constructeur à Paris, et occupa ce poste de 1857 à 1859. Il apporta chez ce constructeur d'importants perfectionnements aux turbines de sucrerie.

Commençant alors à s'occuper des questions de chauffage, en même temps que de celles de mécanique, il fut pendant deux ans Ingénieur de la Société des Forges, Fonderies et Hauts Fourneaux de Franche-Comté, à Fraisans (Jura).

En 1860 et 1861, il passe Ingénieur de la Société A. Muller et C^ie^,

pour l'exploitation d'un nouveau procédé de métallurgie du zinc, dont il était l'auteur en collaboration avec M. Muller.

Enfin, il achève cette première partie de sa carrière comme Ingénieur-mécanicien (pendant les deux années 1862 et 1863) de l'Entreprise générale des travaux du canal maritime de Suez. C'est à cette époque que, comme Ingénieur et collaborateur de feu Couvreux, il étudie et réalise l'excavateur-dragueur si répandu aujourd'hui, ainsi que des transporteurs. Ces études de matériel de travaux publics lui valurent plus tard un prix de la Société d'Encouragement.

C'est en cette année 1863 qu'il fut admis Membre de la Société des Ingénieurs Civils de France, à laquelle il réserva la primeur de tous ses travaux originaux, ce qui lui valut, en 1891, d'être lauréat du Prix Nozo.

Les travaux présentés à la Société par M. Lencauchez ont été les suivants :

1858-1862. — Projet d'un nouvel établissement pour la fabrication de poudrette et de sels ammoniacaux. Étude faite en 1858-1862, offerte par l'auteur en 1893.

1860. — Nouvelle méthode d'extraction du zinc, par MM. Lencauchez et Muller. Communication de M. Faure en 1860.

1872. — Voirie de Bondy.

1873. — Utilisation de la chaleur perdue dans les fours à coke et emploi du gaz des hauts fourneaux.

1874. — Production du gaz à l'eau.

1874. — Combustion de divers gaz.

1874. — Métallurgie de l'acier Bessemer.

1874. — Traitement des fontes et fers phosphoreux pour la fabrication de l'acier.

1877. — Métallurgie du zinc.

1880. — Déphosphoration de la fonte, du fer et de l'acier.

1886. — Traitement des eaux d'égout et évacuation des vidanges.

1887. — Recuit et affinage du fer, de l'acier et de la fonte dans un milieu réducteur.

1889. — Historique de la déphosphoration sur sole en France.

1890. — Production et emploi de la vapeur considérée comme force motrice, principalement dans les locomotives, par MM. Lencauchez et Durant. Annexes A, B, C, D, E.

1890. — Hautes pressions de vapeur dans les machines à vapeur Compound.

1891. — Moteurs à gaz.
1891. — Emploi du gaz d'éclairage comme force motrice. Notes annexes.
1892. — Production de vapeur des chaudières des locomotives des chemins de fer de l'État belge, type Belpaire.
1892. — Nouveaux gaz des gazogènes, le gaz à l'eau et la régénération du carbone.
1893. — Briques en magnésie d'Eubée.
1893. — Four d'affinage basique (dit Martin perfectionné).
1894. — Condenseur à jet ou trompe condensation pour machines à vapeur.
1894. — Transport de l'énergie à grande distance par l'électricité et sur les transmissions par courant continu (en collaboration avec MM. G. Dumont et G. Baignères).
1895. — Note sur le rendement organique des machines à vapeur à multiple effet.
1896. — Lettre au sujet de la puissance motrice développée par les locomotives.
1897. — Résistance des barrages d'une grande longueur et grande hauteur soumis à des pressions statiques considérables.
1897. — Étude sur le mouvement des fluides dans les appareils à force centrifuge.
1898. — Procédé de durcissement de la pierre calcaire et des enduits à base de chaux.
1898. — Notes et observations sur l'emploi de la vapeur comme puissance motrice.
1899. — Étude sur divers gaz combustibles utilisés pours divers usages industriels en général et principalement pour la production de la force motrice.
1899. — Réponse à MM. Riché et Manaut (au sujet du gazogène Riché).
1899. — Étude supplémentaire sur la production et sur l'emploi de divers gaz combustibles.
1901. — Note sur l'action des divers types de gazogènes sur la marche des fours Martin.
1902. — Recherches, études, observations et essais sur la production des gaz des gazogènes et des hauts fourneaux, sur leur épuration et leur emploi par les moteurs à gaz.
1904. — Étude sur la production de la vapeur.
1904. — Étude d'ensemble de générateurs à vapeur.

Peu d'Ingénieurs ont produit autant que Lencauchez pour la Société des Ingénieurs Civils, et nous nous rappellerons toujours son abondante et inépuisable érudition.

C'est en 1872, le 28 août, que, conjointement avec ses entrepreneurs, la Société Gaillard et Haillot, il prit le brevet n° 96442 pour « Un ensemble de dispositions propres à utiliser d'une façon » méthodique la chaleur que peuvent, en brûlant, dégager les » gaz combustibles ».

Ce brevet et ses nombreuses additions forment un ensemble remarquable pour l'application du chauffage au gaz avec récupération continue, à l'industrie du gaz, la verrerie, les produits chimiques, la métallurgie, etc., etc. Le type de récupérateur en poteries céramiques à quatre trous décrit dans ce brevet, ainsi que les dispositifs de chauffage ont été, depuis lors, répandus et sont toujours employés par bien des Ingénieurs et constructeurs dans un nombre très considérable d'usines tant en France qu'à l'étranger.

En 1876, il publie un ouvrage, encore aujourd'hui très estimé, sur la tourbe. Comme enfant de la Somme, il avait de bonne heure été à même d'étudier cette question.

C'est en 1878 qu'il fait paraître son importante *Étude sur les combustibles et sur leur emploi au chauffage au gaz*. Ce travail considérable accompagné de 31 planches est le fruit de longues études et de nombreuses applications du chauffage au gaz. Cet ouvrage, véritable traité sur le chauffage au gaz, se trouve dans toutes les bibliothèques techniques; il s'est trouvé par la suite complété et mis à jour par toutes les communications techniques de l'auteur tant à la Société des Ingénieurs Civils qu'aux autres Sociétés savantes dont il faisait partie.

En 1882-1883, Lencauchez étudie et fait construire, pour la Société des Métaux à Saint-Denis (Seine), tout un ensemble de gazogènes et fours pour l'industrie du cuivre et du laiton. Cette installation présente ceci de très remarquable qu'il a été établi une usine à gaz de chauffage, dont la production est réglée et distribuée à plus de 30 fours divers, exigeant les températures les plus variées, depuis la fusion et l'affinage du cuivre jusqu'au recuit du laiton.

Il eut l'occasion d'établir plus tard, en Lorraine, chez MM. de Wendel, à Hayange, dont il était l'Ingénieur-conseil depuis près de quarante ans, une autre installation du même genre aux ate-

liers de Saint-Jacques et comportant 32 gazogènes desservant de grands fours à réchauffer et des pits à lingots.

Ces installations ont été reproduites à l'étranger et en particulier en Silésie.

Vers 1890, il devint le spécialiste si universellement apprécié, si remarquablement compétent dans les questions de chauffage, aussi bien celles se rapportant à la production de la vapeur et à son utilisation dans les machines fixes et de traction, que celles se rapportant à tous les types de fours industriels chauffés directement par le combustible ou indirectement par gazogènes.

Cette spécialité lui avait valu une réputation européenne, et plus d'une fois, à l'étranger, son intervention pour des questions de cet ordre fut réclamée comme autorité faisant loi dans la matière.

Son esprit toujours en éveil, uni à son labeur incessant, l'amena à être souvent le précurseur de nombreux procédés nouveaux qui devaient, en devenant pratiquement applicables, transformer certaines industries.

C'est ainsi que, dès 1873, il s'occupa de la déphosphoration des fontes sur sole et fit des essais à Hayange, déphosphoration qui ne prit son essor que vers 1885, par le procédé Thomas-Gilchrist.

Il étudia également, en 1873, la distillation et la production de la glycérine entrant dans la préparation de la dynamite.

Vers cette époque aussi, il s'occupa du traitement des matières de vidange que la Ville de Paris envoyait à Bondy et les solutions qu'il préconisa firent voir qu'il avait sur cette grave question les vues les plus nettes.

En 1873, il traite de l'utilisation de la chaleur perdue dans les fours à coke et de l'emploi du gaz des hauts fourneaux, question qu'il devait reprendre près de trente ans plus tard pour l'utilisation des gaz des hauts fourneaux dans les moteurs à gaz de grande puissance, après épuration.

Dès 1873, il considère le haut fourneau comme un gazogène et étudie pour les forges de Liverdun des laveurs à gaz qui se sont répandus partout depuis, particulièrement aux États-Unis. Il réalise le premier, en France, l'épuration des gaz de hauts fourneaux pour moteurs à gaz, par les ventilateurs à pulvérisation d'eau, aux Aciéries de Micheville, au commencement de février 1901, après en avoir indiqué le principe le 12 novembre 1900.

Du reste, il étudia tout ce qui se rapporte au gaz pouvant servir à l'éclairage, au chauffage et à la production de force motrice.

Un des premiers, il comprit le parti à tirer du gaz à l'eau et des gazogènes à gaz pauvre.

En métallurgie, tout ce qui se rapporte à la fabrication de la fonte, du fer et de l'acier fut étudié par Lencauchez et sa science du chauffage concourut souvent à la mise au point de procédés nouveaux par de bonnes installations de fours. Il installa de nombreuses aciéries et, au moment de sa mort, il s'occupait encore des fours Martin qu'il venait de faire installer aux Fonderies de la Marine Nationale, à Ruelle.

En mécanique, son activité s'appliqua surtout à l'utilisation de la vapeur dans les machines, et l'on peut dire que tout ce qui a trait à ces questions était connu de lui.

Il travailla, en collaboration avec M. Durant, la question de la production et de l'emploi de la vapeur vive et d'échappement dans les locomotives, et cette collaboration produisit un système de distribution de vapeur pour les locomotives, essayé à la Compagnie d'Orléans par notre regretté Collègue, l'éminent Ingénieur en chef Forquenot, qui tenait M. Lencauchez en haute estime. Il appliqua aux locomotives de cette Compagnie le réchauffage de l'eau d'alimentation au moyen de la vapeur d'échappement.

Travailleur infatigable, et suivant toujours le progrès, il ne borna pas ses études aux questions l'intéressant plus spécialement. Tout ce qui était nouveau attirait son attention.

C'est ainsi qu'en 1894 il traita, à la Société des Ingénieurs Civils, du transport de l'énergie à grande distance par l'électricité et des transmissions par courant continu, en collaboration avec MM. G. Dumont et G. Baignères; que, lorsque se posa la question du tout à l'égout et de l'hygiène des villes, il proposa des solutions après s'être documenté sur tout ce qui était en usage dans les principales villes du monde.

La liste serait interminable de tout ce qui a été étudié et traité par Lencauchez. Son labeur incessant lui a valu, en dehors de la Société des Ingénieurs Civils de France, d'être lauréat de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale en 1896, 1897 et 1902, lauréat de la Société technique de l'Industrie du gaz en France et lauréat de la Société de l'Industrie minérale.

A la Société des Ingénieurs Civils de France, où il était aimé et consulté de tous, il fut Membre du Comité de 1892 à 1895, puis en 1902-1903, 1904 et 1905.

Depuis la réforme de nos statuts (1903), il avait été élu Membre de la Section de Physique et de Chimie industrielles et n'avait

cessé, à ce titre, de nous donner son concours assidu et sa collaboration éclairée.

On peut s'étonner qu'une telle carrière n'ait pas valu à Lencauchez la première distinction honorifique du Gouvernement, qui s'en montre si peu prodigue vis-à-vis des Ingénieurs civils, et qui se serait cependant ainsi honoré lui-même.

Adieu, Lencauchez, tu laisses une mémoire impérissable parmi nous et un grand exemple à ton fils qui perd en toi son meilleur ami et son compagnon de travail; au nom de la Société des Ingénieurs Civils, au nom de la Section de Physique et Chimie industrielles, au nom de tous tes Collègues et amis, adieu.

---

# CHRONIQUE

## N° 308.

---

SOMMAIRE. — Les grands moteurs à gaz. — Les moteurs à gaz dans la marine. — Dock flottant à Anvers. — Procédé pour la préparation de l'hydrogène. — Machine à casser les rails.

**Les grands moteurs à gaz.** — M. J. H. Hamilton a lu, en novembre 1904, devant *le Staffordshire Iron and Steel Institute*, un intéressant mémoire sur les grands moteurs à gaz.

Selon l'auteur, les avantages du moteur à gaz sont les suivants :

1° Économie de combustible;

2° Supériorité du gaz sur la vapeur au point de vue de la distribution du fluide moteur;

3° Économie d'eau;

4° Suppression du danger d'explosion de chaudières;

5° Possibilité de mise en marche rapide;

6° Économie basée sur la récupération des sous-produits dans la fabrication du gaz;

7° Simplicité relative d'une installation de moteurs à gaz sur des moteurs à vapeur;

8° Utilisation directe pour la production de force motrice des gaz de hauts fourneaux, de fours à coke, etc., lesquels sont les sous-produits de diverses fabrications, cette utilisation se faisant sans nécessiter l'intervention de chaudières à vapeur.

Dans ces dernières applications, l'économie est la plus sensible parce que la chaleur de combustion des gaz déjà produits est utilisée sans l'intervention de la transformation en vapeur qui entraîne une perte; mais, même lorsqu'on doit produire les gaz, la perte par le gazogène est moindre que celle par la chaudière pour les raisons suivantes :

A. Dans le gazogène, le foyer est entouré de matières peu conductrices de la chaleur et il y a moins de pertes de calorique par rayonnement qu'avec une chaudière;

B. La combustion se fait dans de meilleures conditions parce qu'il n'y pas de production de fumée et pas d'excès d'air, puisqu'on peut régler l'accès de celui-ci d'une manière suffisamment précise;

C. La chaleur emportée par les gaz produits peut être utilisée au chauffage de la vapeur et de l'air ou à la production de la vapeur.

On peut objecter que l'addition d'un réchauffeur d'eau d'alimentation à une chaudière produit un avantage du même genre et que des soins

apportés à une installation de chaudière à vapeur peuvent amener, sous les points de vue signalés en A et B, une chaudière à donner des résultats très comparables à ceux d'une installation de gazogène; toutefois, dans les conditions courantes de la pratique, cette dernière conservera un avantage marqué. Dans les deux cas, le rendement maximum peut être estimé à 85 0/0, mais on ne dépasse pas généralement 60 à 65 0/0 avec les chaudières, tandis qu'on peut aller de 65 à 70 0/0 avec les gazogènes.

Une foule de circonstances agissent pour réduire dans une mesure plus ou moins grande le rendement des générateurs à vapeur, les incrustations, les dépôts de suie sur les surfaces de chauffe, les extractions, les pertes de vapeur par les soupapes, etc.; il n'y a rien d'analogue avec les gazogènes. Lorsqu'on fait des essais de vaporisation sur les chaudières, celles-ci sont dans un état aussi parfait que possible, mais ce sont des conditions qu'on ne peut obtenir dans la pratique journalière et il ne faut pas s'étonner si les résultats des expériences sont très supérieurs à ceux de la marche courante. On peut faire la même observation en ce qui concerne les communications entre les machines et les générateurs; si ces deux parties sont très voisines, les tuyautages bien étanches et bien protégés contre le refroidissement, on aura de tout autres résultats que si, comme c'est presque toujours le cas dans la pratique industrielle, la machine est loin de la chaudière, les joints plus ou moins lâches et les conduites mal protégées. D'autre part, la pression insignifiante sous laquelle circule le gaz, sa température qui est celle du milieu ambiant qui n'amène n. dilatations, ni contractions, sont des conditions éminemment favorables à l'étanchéité des conduites et rendent les pertes par fuites insignifiantes. Mais la plus grande source d'économie pour les moteurs à gaz provient du moteur lui-même, comme on peut juger par les chiffres ci-dessous donnant les résultats de quelques expériences.

*Moteur à gaz.*

| TYPE ET DIMENSIONS DU MOTEUR | NATURE DU GAZ | VOLUME CONSOMMÉ PAR CHEVAL-HEURE | CALORIES DÉPENSÉES PAR CHEVAL-HEURE | RENDEMENT THERMIQUE 0/0 | EXPÉRIMENTATEURS |
|---|---|---|---|---|---|
| Premier 500 ch . . . | Mond. | 1 348 | 1 624 | 37,8 | H. A. Humphrey. |
| Crossley 400 ch . . . | — | 1 626 | 2 039 | 31,2 | — |
| Cockerill 600 ch . . . | Gaz de hauts fourneaux | 2 307 | 2 125 | 30,5 | Professeur Habert. |

*Moteur à vapeur.*

| TYPE ET DIMENSIONS DU MOTEUR | DEGRÉ DE SURCHAUFFE | VAPEUR DÉPENSÉE PAR CHEVAL INDIQUÉ-HEURE | CALORIES PAR CHEVAL INDIQUÉ-HEURE | RENDEMENT THERMIQUE 0/0 | AUTORITÉ |
|---|---|---|---|---|---|
| Compound 260 ch . . | 165° | 4,08 | 2 790 | 23,0 | Longridge. |
| — 5 000 ch. . | 0 | 6,34 | 4 080 | 16,7 | Garantie du marché. |
| — 1 000 ch. . | 55 | 5,00 | 3 510 | 18,3 | Hiller. |

Si on combino le rendement maximum du générateur et du moteur dans les deux cas, on obtient les utilisations globales ci-après :

*Moteur à gaz*, 0,377 × 0,85 = 0,32, soit 0,26 kg par cheval-heure.

*Moteur à vapeur*, 0,23 × 0,85 = 0,195, soit 0,42 kg par cheval-heure.

Il est à peine besoin de dire que ces résultats ne sont pas ceux de la pratique journalière, et que la combinaison de la plus haute utilisation dans le générateur avec le rendement maximum du moteur est un fait exceptionnel; mais il n'en est pas moins vrai que, dans des installations de moteurs à gaz de puissance modérée, des consommations de 0,35 kg d'anthracite par cheval-heure ne sont pas rares et que le même chiffre peut être atteint avec des moteurs de grande puissance alimentés par des charbons gras, ce qui correspond à un rendement de 24 0/0.

Si une installation de force motrice à gaz de gazogène présente une économie marquée par rapport à une force motrice à vapeur moderne pourvue de tous les perfectionnements propres à réduire au minimum la consommation du combustible, elle offre de plus grands avantages encore lorsque le moteur est alimenté avec du gaz tout préparé, tel que celui qu'on obtient des hauts fourneaux ou des fours à coke. Comme on l'a vu plus haut, une chaudière chauffée à la houille a un rendement de 60 à 65 0/0, rendement qu'avec l'adjonction d'un réchauffeur d'eau, on peut porter à 70 ou 75 0/0; mais, si on chauffe cette chaudière avec des gaz de hauts fourneaux, le rendement diminue et on ne devra pas compter en travail courant sur un rendement supérieur à 60 0/0. Une machine à double ou triple expansion à condensation dépense en moyenne 7,20 kg de vapeur saturée à 10 kg de pression; son utilisation thermique sera de 13,8 0/0 et si on la combine avec celle de la chaudière, on aura 8,3 0/0, alors que le rendement du moteur à gaz arrive à 30 0/0. Il est vrai que le nettoyage des gaz absorbe environ 2 à 3 0/0 de la puissance, de sorte que, pour être rigoureux, il faut défalquer cette proportion.

Les moteurs à gaz qu'on emploie actuellement dans les forges et aciéries se divisent en deux grandes classes, les moteurs à deux temps et les moteurs à quatre temps; tous les moteurs de notre époque sont basés sur le principe de l'introduction dans le cylindre d'un mélange d'air et de gaz, de la compression de ce mélange par le retour du piston et de son inflammation sous volume constant; la différence entre les deux classes vient de la manière dont la charge est introduite. La machine à quatre temps est la plus simple, le piston aspire la charge dans sa première course, la comprime dans sa seconde, est poussé par l'explosion dans sa troisième et refoule à l'extérieur les gaz brûlés dans sa quatrième, ce qui complète le cycle. Dans le moteur à deux temps, on élimine les périodes d'aspiration et d'expulsion ou plutôt ce sont des pompes qui se chargent des fonctions correspondantes en envoyant, ensemble ou séparément, le gaz et l'air dans le cylindre moteur et en expulsant les produits de la combustion.

Ainsi la période d'aspiration de la pompe correspond à la course d'aspiration du moteur à quatre temps et la période de décharge à la course d'échappement.

Pour les grands moteurs, il est indispensable d'avoir des pompes distinctes pour l'air et le gaz, de sorte que la machine à deux temps devient en réalité plus compliquée que le moteur à quatre temps, mais d'autre part, elle a le double d'impulsions par révolution. Pour réduire le nombre des parties en mouvement et afin d'assurer un échappement assez libre pour que la nouvelle charge puisse être introduite dans le très court espace de temps disponible, on dispose généralement les choses de manière que le piston découvre des orifices pratiqués dans les parois du cylindre, disposition qui est un des points faibles des moteurs à deux temps. Le fonctionnement des pompes sous une pression assez élevée nécessaire pour introduire rapidement la charge dans le cylindre moteur entraîne une notable dépense de travail. Cette considération et d'autres encore expliquent pourquoi le moteur à deux temps est moins économique que le moteur à quatre temps.

Les grands moteurs à gaz construits en Angleterre et employés dans les usines métallurgiques sont :

*Moteurs à quatre temps.*

Type Crossley, construits par la maison Crossley frères.
Type Premier, construit par la Premier Gaz Engine Company.
Type Cockerill, construit par Richardson, Westgarth and C°.

*Moteurs à deux temps;*

Type Körting, construit par Mather et Platt.
Type Oechelhauser, construit par W. Beardmore and C°.

Le moteur Premier diffère des autres moteurs à quatre temps en ce qu'il est positivement du type qu'on appelle en anglais *scavenger*, ce qui signifie *balayeur*, c'est-à-dire que les produits de la combustion restés dans la chambre de compression sont balayés et remplacés par de l'air frais. Les grands modèles des types Crossley et Premier sont faits avec deux cylindres et même plus, mais les systèmes Cockerill, Korting et

Oechelhauser conservent un cylindre unique, même pour de grandes puissances. Parmi ceux-ci, le type Cockerill a reçu le plus grand cylindre employé jusqu'ici pour un moteur à gaz, savoir 1,30 m de diamètre; tandis que le type Körting tient le record pour la puissance réalisée avec un seul cylindre, ce qui est dû à ce que, en plus du nombre relativement considérables d'explosions obtenu grâce à l'emploi du cycle à deux temps, le moteur est à double effet. On fait aussi maintenant le moteur Cockerill à double effet et, en disposant deux cylindres, chacun à double effet, en tandem, on réalise deux impulsions par tour comme avec le moteur Körting.

La maison Crossley frères évite l'emploi de tiges de pistons dans les moteurs à deux cylindres au moyen d'un artifice consistant à disposer dos à dos deux cylindres à simple effet, les deux pistons agissant sur la même manivelle. On supprime ainsi la tige commune aux deux pistons, mais le moteur donne moins de régularité parce que les deux impulsions se suivent et il y a après deux courses sans explosion. Les moteurs Premier étaient aussi disposés primitivement de manière à éviter l'emploi de tiges communes aux deux pistons; les cylindres étaient placés en tandem et des tiges latérales reliaient une traverse portée par le piston d'arrière à la tête de l'autre piston, cette tête formait elle-même le piston d'une pompe de balayage. Dans les derniers modèles de ce type, cette pompe est séparée et placée dans une position inclinée au-dessus du cylindre avant. Des moteurs de ce système fonctionnent actuellement avec du gaz Mond et du gaz de hauts fourneaux et de fours à coke.

Une installation de deux moteurs Cockerill à simple effet fonctionne actuellement au gaz de fours à coke, près de Leeds. Ces moteurs sont de 250 ch et actionnent des dynamos par courroies.

Les laminoirs de MM. Monks, Hull and C°, à Warrington, sont actionnés par un moteur Premier de 600 ch. Un train est accouplé directement à l'arbre du moteur et un autre est mené à une plus grande vitesse par une transmission à cordes; le premier train fait le dégrossissage et le second le finissage. Les billettes sont chauffées dans un four chauffé au gaz Mond, gaz qui sert également à actionner le moteur. Comme ces laminoirs ne sont pas réversibles, il n'y a pas de difficultés spéciales et le moteur à gaz convient particulièrement à ce genre d'application, à cause de l'économie qu'il présente par un travail intermittent.

Mais l'emploi le plus important pour la métallurgie consiste dans l'adaptation du moteur à gaz aux souffleries de hauts fourneaux; cette application a déjà atteint un degré très satisfaisant de développement et on a construit des appareils de ce genre de grande puissance. On les fait généralement avec les cylindres disposés horizontalement; toutefois, on a fait quelques souffleries avec le cylindre moteur horizontal et le cylindre soufflant vertical; ce modèle, avec des dispositions bien étudiées, donne de très bons résultats.

Une autre différence avec la machine soufflante actionnée par la vapeur consiste en ce que les souffleries mues par moteurs à gaz marchent notablement plus vite. Les anciens types de clapets, bons pour

des vitesses modérées, ne conviennent plus dans ce cas parce qu'ils produisent des étranglements; il faut donc recourir à des types mieux appropriés aux nouvelles conditions de fonctionnement. Les cylindres soufflants Premier portent des tiroirs à grilles placés dans les fonds des cylindres et actionnés par des cames. Ces tiroirs ouvrent de larges passages et la dépression est très faible, ce qui est un avantage réel si on considère le grand volume d'air débité par ces cylindres. L'espace neutre est aussi très réduit. MM. Richardsons, Westgarth and C° emploient dans leurs souffleries récentes des dispositions analogues, mais les soupapes de refoulement sont ouvertes par la pression de l'air agissant sur un piston relié aux clapets et se fermant par l'action d'un excentrique.

Dans une machine soufflante Premier fonctionnant chez MM. A. Hickmann, il y a une disposition spéciale pour le balayage des gaz brûlés. Un tuyau prend de l'air à l'arrière du cylindre soufflant, cet air sert au balayage; il est introduit par la soupape d'admission du cylindre moteur à la fin de la course de retour du piston et chasse les produits de la combustion. La proportion ainsi employée est très faible. La machine soufflante dont il s'agit est la plus puissante qui existe actuellement en Angleterre; le cylindre soufflant a 1,83 m de diamètre.

Nous croyons intéressant de compléter les renseignements qui précèdent par quelques autres empruntés à un article tout récent de l'*Iron Age*.

On peut estimer à 300 000 ch la puissance actuelle collective des moteurs mus par des gaz sous-produits, c'est-à-dire gaz de hauts fourneaux ou de fours à coke; la presque totalité de ces moteurs sont en Europe.

La plus grande machine utilisant les gaz de hauts fourneaux actuellement en service est une machine horizontale à quatre cylindres, à double effet, de la fabrique de Nuremberg, fonctionnant aux Aciéries du Rhin, à Meiderich. Elle développe une puissance de 3 200 ch et actionne quatre cylindres soufflants à double effet donnant le vent à des hauts fourneaux. La machine seule, sans le volant et les cylindres à air, pèse 250 t; elle tourne à 80 tours par minute. Il n'y a pas de raison pour ne pas, en multipliant les unités qui composent la machine précédente, réaliser une puissance de 5 000 ch avec des gaz de hauts fourneaux, puissance qui s'élèverait à 6 000 ch avec le gaz naturel dont on dispose aux États-Unis.

**Les moteurs à gaz dans la marine.** — Dans un article paru récemment dans *Marine Engineering*, M. Bernard A. Sinn considère le moteur à gaz, et peut-être même la turbine à gaz, comme la machine marine de l'avenir. Le gaz sera nécessairement produit par des gazogènes installés à bord, car le prix élevé des huiles minérales ne permet pas, pour le moment, d'admettre leur emploi comme une solution économique. Il y a également contre elles une objection fondée sur le chiffre élevé des primes d'assurance, dans l'hypothèse que leur maniement est dangereux.

On a construit pour la marine, depuis deux ans, des moteurs dont le changement de marche s'opère par l'air comprimé. Pour renverser le

sens de rotation de l'arbre, on ferme d'abord l'arrivée du gaz, on fait tourner l'arbre porte-came de 180 degrés et on envoie de l'air comprimé dans le cylindre, et le changement dans les périodes d'admission et d'échappement suffit pour renverser le sens de la marche; dès que la machine est partie dans le sens de la marche arrière, on rétablit l'arrivée du gaz et le mouvement se continue comme dans le premier sens. Cette manœuvre se fait avec un seul levier qui actionne l'arbre à came et les accès d'air et de gaz.

Pour l'installation de moteurs à gaz pour la propulsion d'un navire, il faut, outre les moteurs principaux, des extracteurs pour les gazogènes, des compresseurs pour fournir l'air nécessaire au changement de marche, à la mise en action des sifflets et sirènes, des pompes de circulation pour l'eau et les machines auxiliaires nécessaires pour les opérations qu'on ne peut demander aux grandes machines. Il faut aussi des installations électriques pour ces machines auxiliaires. L'air comprimé pourra être fourni au départ par l'électricité empruntée à des accumulateurs et ensuite par les machines principales.

Les moteurs marins devant être de grande puissance, il faut s'inspirer d'abord de la pratique des moteurs de terre au point de vue de leur étude. On a déjà construit des moteurs verticaux de 3 000 à 5 000 ch. Le type à quatre temps, qui se construit couramment sur les plus grandes dimensions, paraît le meilleur pour la marine; on pourrait adopter une machine à trois cylindres à double effet donnant six explosions par deux tours.

Pour des moteurs puissants, en donnant une forte compression, on pourrait réduire à 2 400 l la dépense de gaz par cheval indiqué et par heure; la vitesse de piston sera supposée de 4 m par seconde, et la pression moyenne effective de 4,2 kg par centimètre carré pour la course à explosion. Ces données permettent de déterminer les dimensions des cylindres. On prendra pour les vitesses à l'admission et à l'échappement les valeurs respectives de 30 et 25 m par seconde, ce qui permettra de calculer les sections des tuyaux et passages. On donnera aux soupapes une section égale à 15 ou 20 0/0 de celle des pistons et on les disposera pour une ouverture et une fermeture rapides. La chambre de compression, pour une pression de 10,5 kg, aura un volume égal au quart du volume décrit par le piston dans sa course.

L'arbre à cames portera trois cames, une pour la marche en avant, une pour la marche en arrière et une pour produire le changement de marche; ces cames sont disposées de manière à glisser sur leur arbre, de manière à se présenter l'une ou l'autre au levier qui actionne la soupape. On disposera les cylindres, leurs fonds, les soupapes, les boites à soupapes, les pistons, les tiges et contre-tiges, etc., avec des enveloppes de circulation d'eau et toutes les parties des machines devront être faites de la manière la plus substantielle. Les gaz d'échappement seront envoyés dans un appareil convenable pour réduire le bruit de l'explosion et on utilisera leur calorique pour chauffer de l'eau pour divers usages. L'air venant des compresseurs sera emmagasiné dans des réservoirs pour être utilisé aux usages indiqués plus haut.

L'installation électrique est le plus important des services auxiliaires;

il comporte, comme on l'a dit, des accumulateurs et sert à actionner des pompes, des souffleurs et extracteurs pour les gazogènes, les machines auxiliaires, telles que grues, cabestans, machines à gouverner, l'éclairage et les étincelles pour allumer le mélange explosif dans les machines principales.

Ces dernières, au nombre de deux, seront disposées au centre du compartiment des moteurs; de chaque côté seront les compresseurs, les réservoirs d'air et les pompes; à l'avant seront les extracteurs qui prennent le gaz des gazogènes et l'envoient aux machines. A l'arrière sont les dynamos; les gazogènes sont dans un compartiment spécial en communication avec le premier.

L'auteur a établi approximativement les poids comparatifs dans les deux systèmes, moteurs à gaz et moteurs à vapeur pour une puissance de 10 000 chevaux; nous les donnons ci-dessous :

| *Moteur à vapeur.* | | *Moteur à gaz.* | |
|---|---|---|---|
| Machines principales . . . . | 385 t | Machines principales . . . . | 465 |
| Condenseurs . . . . . . . . | 56 | Condenseurs . . . . . . . . | 32 |
| Chaudières . . . . . . . . . | 315 | Gazogènes . . . . . . . . . | 163 |
| Cheminées, etc. . . . . . . | 86 | Tuyautage . . . . . . . . . | 38 |
| Ventilateurs, réchauffeurs . . | 41 | Souffleurs et extracteurs. . . | 36 |
| Pompes et auxiliaires . . . . | 19 | Compresseurs et pompes. . . | 66 |
| Éclairage électrique . . . . . | 20 | Installation électrique . . . . | 40 |
| Rechanges et divers . . . . . | 18 | Rechanges et divers . . . . . | 18 |
| Chaudière auxiliaire. . . . . | 32 | Machines de mise en train . . | 22 |
| Eau dans la chaudière. . . . | 180 | Eau dans les générateurs . . | 45 |
| Total . . . . | 1 149 | Total. . . . | 927 |
| Charbon . . . . . . . . . . | 1 950 | Charbon . . . . . . . . . . | 1 000 |
| Total général. . . . . | 3 099 | Total général. . . | 1 927 |
| Coût d'établissement. . . | 1 480 000 f | Coût d'établissement. . . | 1 230 000 f |
| Prix par cheval indiqué. | 148 | Prix par cheval indiqué. | 123 |

Voici, d'autre part, un aperçu sur les dépenses de service dans les deux cas :

| | Moteur à vapeur. | Moteur à gaz. |
|---|---|---|
| Intérêt, dépréciation et assurance . . . | 140 000 f | 112 500 f |
| Charbon pour 150 jours par an . . . . | 450 000 | 245 000 |
| Personnel des machines . . . . . . . | 150 000 | 60 000 |
| Graissage et fournitures . . . . . . . | 17 500 | 28 000 |
| Réparations et divers . . . . . . . . | 75 000 | 60 000 |
| | 832 500 f | 505 500 f |

| | |
|---|---|
| Économie annuelle . . . . . . . . . . | 327 000 f |
| Valeur de la capacité additionnelle de chargement estimée à 1 150 tx. . . . | 230 000 |
| Économie totale . . . . . | 557 000 f |

Cette économie représente à peu près 10 0/0 sur les dépenses générales d'exploitation d'un navire de ce genre. L'auteur en conclut que l'application des moteurs à gaz à la propulsion des navires donnera de très beaux résultats dès que les constructeurs de machines marines voudront bien s'engager dans cette voie et se mettre en mesure de fournir aux armateurs des moteurs basés sur ce principe.

Le journal *Engineer*, dans son numéro du 24 mars, traitant la même question, dit que deux autorités reconnues MM. Dugald Clerk et Yarrow se sont prononcées publiquement en faveur du moteur à gaz marin qu'ils considèrent comme devant être, dans un avenir peu éloigné, appliqué sur des navires même de grandes dimensions ; ce n'est un secret pour personne que des maisons importantes, constructeurs de moteurs à gaz et constructeurs de navires, donnent en ce moment à la question la plus sérieuse attention. En Allemagne, on s'en occupe également et, à une réunion de la Schiffbau Technische Gesellschaft, le spécialiste bien connu, M. Capitaine, a donné la description d'un moteur à gaz qu'il considère comme applicable à des puissances assez élevées.

Il ne paraît pas y avoir de difficultés insurmontables à réaliser des gazogènes à aspiration pour une force de 500 et même de 1 000 ch ; mais des appareils de cette capacité n'existent pas encore. On est donc obligé, pour discuter le sujet, de s'en référer à des appareils de moindres dimensions. Un gazogène de 150 ch a environ 3,05 m de hauteur et occupe un espace de 2,40 × 2,40 ; son poids, chargé, est de 8 à 9 t.

Une chaudière et ses accessoires, pour une machine à vapeur de même puissance, pèsera certainement 12 à 14 t, sans l'eau, et occupera plus d'espace que le gazogène. D'autre part, la machine à vapeur ne pèsera que 6 t, c'est-à-dire notablement moins que le moteur à gaz actuel, mais peut-être cette différence pourrait-elle être réduite avec l'accroissement de la puissance ; dans tous les cas, on réalisera une économie de poids considérable sous le rapport de l'eau. C'est assurément un fait curieux que le domaine de la marine dans lequel la machine à vapeur semblait, il y a quelques années encore, sans rivale possible, paraisse aujourd'hui pouvoir lui être disputé avec des chances sérieuses de succès par le moteur à combustion interne.

**Dock flottant à Anvers.** — Il a été établi sur l'Escaut, en 1902-1903, par la Société Gutehoffnung, à Sterkrade, pour le compte du Vulcain Belge, un dock flottant de grande puissance, qui a été repris depuis par la Compagnie des Cales d'Anvers. Nous donnons ci-après, sur cet engin remarquable, des détails que nous trouvons dans les *Annales des Travaux Publics de Belgique.*

On sait que, dans les docks flottants ordinaires, les caissons métalliques formant le fond et les parois latérales sont reliés solidairement les uns aux autres. Mais il existe deux variétés de ces engins suivant lesquelles ceux-ci peuvent être divisés en plusieurs éléments utilisables séparément. Certains sont formés de deux ou trois parties constituant à elles seules des docks complets que l'on assemble l'un avec l'autre. D'autres comprennent un fond mobile que l'on peut subdiviser en plu-

sieurs caissons et deux bajoyers formés chacun d'une seule pièce. Ces deux variétés de docks peuvent se combiner et former ainsi un troisième type d'engin flottant. C'est à celui-ci qu'appartient le dock d'Hoboken-lez-Anvers dont nous nous occupons ici.

Ce dock flottant peut recevoir des navires de 11 500 tx de déplacement, ce qui, pour des bâtiments de commerce, correspond aux dimensions approximatives suivantes : longueur 165 m, largeur 20 m et tirant d'eau 6,70 m. Il se compose, dans le sens de la longueur, de deux parties, dont l'une, de 84,50 m de longueur, comprend quatre et l'autre. de 63,30 m, trois caissons de fond. Leur largeur est, à la partie supérieure, de 29,87 m extérieurement et 24,57 m intérieurement, à la partie inférieure de 22,07 m. L'intervalle entre les deux parties de la cale étant de 0,75 m, la longueur totale de celle-ci est de 148,70 m. Les caissons de fond ont chacun 20,60 m de longueur et sont séparés par des intervalles de 0,75 m.

Les caissons formant bajoyers, qui sont d'une seule pièce pour chacune des parties de la cale, présentent de distance en distance des ouvertures qui en réduisent le poids, diminuent le volume de lest d'eau nécessaire lors de l'immersion, facilitent les communications avec l'intérieur de la cale et servent à l'aération de celle-ci.

Un peu au-dessus du niveau le plus élevé que le lest d'eau puisse atteindre dans les caissons latéraux, ceux-ci sont pourvus d'un plancher continu qui est utilisé pour l'installation des machines et comme pont de sûreté. Des compartiments étanches sont, d'ailleurs, disposés au-dessus de ce pont pour maintenir le dock à flot en cas d'accident aux caissons inférieurs. En outre, on a eu soin de diviser les caissons du fond et des bajoyers par des cloisons longitudinales et transversales en un certain nombre de cellules étanches auxquelles on a accès par des trous d'homme ou des écoutilles.

Le navire mis sur cale repose sur des tins en bois de 1,20 m de hauteur espacés de 0,80 m. Les parois sont soutenues par des étançons ainsi que par vingt-deux paires de poutres prenant appui sur le fond. Ces poutres articulées au milieu du dock, sur la ligne des tins, reposent à leur extrémité sur des tiges mobiles à crémaillère. Un mécanisme commandé du pont supérieur permet de relever ces poutres pour les serrer contre les parois du navire. Les étançons prennent pied sur les passerelles en encorbellement qui s'étagent sur les parois latérales du dock.

Les pièces nécessaires aux réparations, lorsqu'elles sont trop lourdes pour être amenées par la passerelle de service qui réunit le dock à la rive, sont chargées sur bateau et présentées à l'une des extrémités du dock où elles sont prises par une grue de 20 t qui a un porte-à-faux de 8 m. Une voie ferrée régnant le long d'un des côtés dessert toute la longueur du dock. Les deux grues sont commandées par des cabestans ; ceux-ci, au nombre de quatre pour la grande partie de la cale, et de deux pour l'autre, sont tous installés sur le pont supérieur et mus par des moteurs électriques.

Pour descendre le dock à la profondeur la plus grande, il faut 18 750 t de lest. Celui ci est fourni par l'eau qu'on introduit dans les caissons

du fond, à l'aide de vannes commandées du pont supérieur des bajoyers. Les caissons du fond se vident au moyen de sept pompes centrifuges (une par caisson) installées toutes du même côté du dock et commandées chacune par un moteur électrique de 110 ch. Les caissons du fond étant divisés chacun en quatre compartiments, l'eau est aspirée par quatre conduites débouchant dans une conduite principale sur laquelle est branché le tuyau d'aspiration de la pompe. Sur cette même conduite principale aboutit le tuyau d'entrée des eaux. Cette canalisation, commandée par un jeu de vannes, est donc utilisée pour le remplissage et pour la vidange des caissons. Ceux-ci sont reliés deux à deux par des conduites de secours qui servent en cas d'avarie à l'une des pompes.

Toutes les manœuvres relatives à l'introduction et à la sortie des eaux sont commandées, pour chacune des deux parties du dock, d'une cabine installée sur le pont supérieur. Les deux cabines, qui se trouvent l'une près de l'autre, renferment des indicateurs qui permettent à l'occupant de se rendre compte de la position de toutes les vannes et du niveau de l'eau dans chacun des caissons.

Chaque pompe centrifuge débite 30 m³ environ par minute, pour une vitesse de 310 tours, ce qui permet de remonter le dock avec un navire de 11 500 tx, en quatre-vingt-dix minutes.

Une pompe à piston plongeur, commandée également par un moteur électrique, est utilisée pour le levage des navires et de la cale, ainsi que, le cas échéant, comme pompe à incendie.

Pour la mise en marche des divers moteurs électriques, on utilise un courant continu à 440 volts, fourni par une station installée sur la rive. Ce même courant sert à l'éclairage du dock lequel est assuré par quatorze lampes à arc, ainsi que l'éclairage des navires en réparation et la commande de foreuses électriques et outils divers.

La disposition adoptée pour le dock permet d'utiliser celui-ci pour se réparer lui-même. En effet, si l'un des caissons de fond est endommagé, on peut le mettre à sec dans l'une des parties du dock. La plus grande des deux parties du dock, utilisée seule, peut recevoir des navires de 6 000 tx.

**Procédé pour la préparation de l'hydrogène.** — Le *Politecnico* donne, d'après le *Bollettino della Societa aeronautica italiana*, la description d'un procédé pour la préparation de l'hydrogène destiné plus particulièrement au gonflement des ballons, application pour laquelle il y a intérêt à réduire le plus possible le poids des appareils à transporter. La note que nous résumons est due au docteur Helbig.

L'auteur fait observer que, jusqu'ici, on prépare toujours l'hydrogène en utilisant la réaction de l'acide sulfurique étendu d'eau sur du fer. Mais il y a une autre réaction applicable, c'est celle des hydrates alcalins sur l'aluminium, soit :

$$Al + 3NaO,HO = 3H + AlO^3,Na^3.$$

La section d'aérostation de l'armée russe se sert de ce procédé pour obtenir l'hydrogène nécessaire au service des ballons dans la guerre actuelle, et le docteur Helbig a étudié les appareils employés pour réaliser

ce procédé, à l'occasion du quatrième Congrès d'Aérostatique, tenu à Saint-Pétersbourg.

Il y a deux types d'appareils : un de campagne, monté sur voiture, et l'autre pour la montagne.

Ces appareils sont construits en fer, car les dissolutions alcalines n'ont aucun effet sur ce métal. Ils se composent d'un générateur et d'un épurateur. Le premier contient la solution de soude, dans laquelle est immergé un panier en fer contenant des rognures d'aluminium. La partie supérieure du générateur communique, par un long tube en tôle, avec l'épurateur, dans lequel le gaz barbote dans l'eau, en abandonnant les traces de matières alcalines qu'il a entraînées.

De l'épurateur, l'hydrogène est envoyé sur le lieu d'emploi, par un conduit flexible en étoffe rendue imperméable par un vernis. On peut employer plusieurs générateurs accouplés suivant les besoins. Les assemblages des diverses parties des appareils sont opérés par des joints hydrauliques avec 0,30 m de hauteur pour la colonne liquide, ce qui est très suffisant pour le procédé.

Une fois commencée, l'attaque de l'aluminium par la solution de soude se fait avec une grande énergie; le gaz se produit très rapidement, et le liquide s'échauffe jusqu'à l'ébullition ; mais, à mesure que la proportion de soude libre diminue, la réaction s'affaiblit, et, pour qu'elle s'achève avec une activité suffisante, on est obligé d'employer une proportion de soude caustique supérieure à ce qu'indique la théorie.

Si on prend pour point de départ la formule donnée plus haut, le calcul indique que, pour obtenir 1 m³ de gaz hydrogène, il faut employer 0,810 kg d'aluminium et 3,6 kg d'hydrate de soude; mais, si l'aluminium du commerce ne contient que 99 0/0 de métal pur, d'autre part, l'hydrate de soude du commerce ne contient, au maximum, que 77 0/0 de soude; on doit donc en employer 4,675 kg. Le poids de matières premières à transporter, pour produire 1 m³ d'hydrogène, est donc de 5,485 kg.

Avec le procédé ordinaire, employant le fer et l'acide sulfurique, il faut transporter 6,930 kg de matières. La nouvelle méthode présente donc, sous ce rapport, une économie de 20 0/0. Il faut y ajouter une réduction de poids des appareils, qui peuvent être plus légers, parce qu'ils n'ont pas besoin d'être faits en tôle recouverte de plomb, comme dans la méthode ordinaire.

L'hydrogène obtenu par le nouveau procédé est beaucoup plus pur; il ne contient pas des hydrocarbures volatils, qui augmentent sa densité et diminuent la force ascensionnelle, ni de l'hydrogène arsénié qui s'y rencontre souvent et rend le gaz dangereux à cause de ses propriétés vénéneuses. Les seules impuretes qu'il contienne sont de la vapeur d'eau et des traces de liqueur alcaline.

On doit considérer comme un avantage sérieux la nature solide de la soude, qui facilite grandement le transport, par comparaison avec l'acide sulfurique, liquide très corrosif.

Le seul désavantage que présente le nouveau procédé, désavantage très sérieux il est vrai, est le prix de revient de l'hydrogène, qui, d'après les calculs du docteur Helbig, ne peut guère descendre au-dessous de 3,60 f le mètre cube. A moins que le prix de l'aluminium ne s'abaisse

dans des proportion inespérées, il est douteux que le procédé à l'aluminium puisse être utilisé pour la fabrication de l'hydrogène, sauf dans des cas exceptionnels, où le prix ne joue qu'un rôle secondaire.

**Machine à casser les rails.** — Pour utiliser les vieux rails dans les forges, on les coupe en morceaux, généralement au moyen de puissantes cisailles. Aux Etats-Unis, on commence à se servir de machines qui les cassent en fragments, et dont l'*Iron Age* donne une description. Ces machines ont, sur les cisailles, l'avantage de faire plus de travail, et de laisser nets les bouts des morceaux, bouts que la cisaille détériore.

L'appareil a 2,70 m de longueur sur 1 m de largeur, et pèse 6 500 kg; il peut être actionné par l'électricité, par courroies, ou directement, par un petit moteur à vapeur, ce qui est le plus simple. Un arbre coudé, mû par le moteur, et pourvu d'un puissant volant, agit par une bielle sur un bloc formant marteau, auquel il communique un mouvement rectiligne alternatif dans le sens horizontal. Le rail est placé transversalement, et s'appuie sur des tasseaux distants d'un certain intervalle, et portant sur une forte pièce reliée au bâti qui porte les coussinets de l'arbre, par quatre tirants de 75 mm de diamètre. C'est le choc du marteau sur le rail entre ses appuis qui produit la fracture. Le bloc est en deux pièces, séparées par une sorte de mortaise, dans lesquelles on enfonce à volonté un coin suspendu à un bras d'un levier dont l'autre bras porte un contrepoids et une poignée de manœuvre. Lorsque le coin n'est pas en place, le marteau à fin de course n'arrive pas à toucher le rail, mais, si on enfonce le coin, il va plus loin et brise le rail.

L'action du coin est la même que pour la cisaille, de sorte que la machine peut fonctionner d'une manière continue. Elle donne de 12 à 15 coups par minute. On peut régler à volonté la longueur des morceaux, et casser tous les échantillons de rails, jusqu'au poids de 100 livres par pied.

# COMPTES RENDUS

## SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

FÉVRIER 1905.

Rapport de M. TOULON, sur **les mires de nivellement,** de M. ROBIN.

Il y a deux modèles de ces mires. Le premier est composé d'une série de dix petits rectangles de 2 mm de hauteur sur 8 de longueur, disposés en gradins suivant une ligne inclinée, et tracés sur le plan de la mire. Ces rectangles sont peints en blanc sur fond noir. On peut ainsi lire les hauteurs jusqu'à 40 m de distance, avec une précision de 1 mm.

Le second modèle sert principalement à la détermination des légers déplacements, et en particulier des flexions des ouvrages pendant les essais. Il est fondé sur le principe suivant : supposons une série de lignes inclinées de 2 pour 10, et distantes entre elles de 20 mm ; la largeur de la partie graduée de la mire est de 100 mm. Divisons en 20 parties égales chacune de ces lignes ; chaque division correspondra à 5 mm, et verticalement à 1 m. Le fil de visée horizontal observé dans la lunette vient couper très nettement la ligne inclinée, et donne un point d'intersection bien visible dans un des intervalles de 5 mm de largeur. Il est donc possible d'apprécier à une fraction de cet intervalle, qui correspond à 0,20 mm environ, en hauteur.

Ces deux modèles paraissent devoir rendre de réels services. L'idée de viser l'intersection d'une ligne inclinée par une ligne horizontale semble très heureuse, car elle permet d'obtenir une précision supérieure à celle que donnent les graduations ordinaires des mires.

**Revue de la métallurgie en 1904,** par M. H. LE CHATELIER.

Dans l'impossibilité de faire en quelques lignes une analyse de cette revue, nous devons nous borner à indiquer rapidement les principaux sujets touchés par l'auteur ; ce sont : la constitution des aciers, les études sur les bronzes, les alliages magnétiques, les aciers spéciaux, notamment les aciers rapides, les recherches sur la fragilité, puis, la dessiccation de l'air pour l'alimentation des hauts fourneaux, la commande électrique des laminoirs, les turbines à vapeur, les moteurs à gaz de hauts fourneaux, l'emploi de l'aluminium, etc.

**Expériences sur le travail des machines-outils**, par M. GODRON.

Cette partie continue l'étude du travail des foreuses.

**Notes de chimie,** par M. J. Garçon.

Nous signalerons, dans ces notes : une étude sur la Society of Chemical Industry, de Londres; l'enquête sur les indications chimiques françaises; la réforme de l'enseignement de la chimie; les causes de la prospérité de l'industrie chimique, en Allemagne; des notes sur le dosage des terrains par la colline; sur le point de fusion des verres; sur celui des produits céramiques; le dosage du phénol; les dosages organiques avec le peroxyde de sódium; la pollution des eaux caractérisée par la formation de l'iodure d'azote; les manchons à incandescence; l'utilisation de l'azote atmosphérique; le nitrate de soude; le moelleux des vins et les masques à treillis d'aluminium pour la protection contre les vapeurs de mercure.

**Notes de mécanique.** — Nous trouvons, parmi ces notes : une étude sur les outils à pointe de diamant, d'après M. Henning; la description des grues flottantes des ports de Dantzig et de Riga, et une note sur les essais d'éprouvettes en charges alternatives, au National Physical Laboratory.

---

## ANNALES DES MINES

---

### *11e livraison de 1904.*

**Travaux de la Commission anglaise de l'électricité,** par M. Leproux, Ingénieur des Mines.

La Commission anglaise de l'électricité a été instituée en octobre 1902 par le Secrétaire d'État pour l'Intérieur, dans le but d'étudier l'emploi de l'électricité dans les mines et les moyens de prévenir les accidents résultant de cet emploi. Le fonctionnement de cette Commission s'est traduit par la rédaction d'un rapport résumant ses travaux, et par un projet de règlement, lesquels ont paru le 19 janvier 1904 et dont la note dont nous nous occupons donne la traduction *in extenso*.

Il semble que jusqu'ici, dit M. Leproux, aucune décision n'a été prise par les pouvoirs publics au sujet de l'usage qui sera fait de ce projet. Il est probable que, modifié sur certains points, il deviendra partie intégrante des règlements particuliers, sur la proposition du Secrétaire d'État pour l'Intérieur.

Ainsi le travail de la Commission aura bien le caractère qui lui convient, de document n'obligeant que par lui-même et d'une manière stricte, tous les exploitants du Royaume-Uni, mais conservant le caractère d'un code de « Principes à consulter » suivant l'expression de la Commission du Grisou, expression qui paraît s'appliquer très bien à ce cas.

On conçoit qu'il est difficile de faire en pareille matière une réglementation uniforme et stricte, car trop d'éléments interviennent pour modifier les conditions d'exploitation.

**La fumivorité des locomotives** et l'appareil automatique Langer, par E. Bernheim, Ingénieur des Mines, Secrétaire adjoint du Comité de l'Exploitation technique des Chemins de fer.

Nous avons eu occasion de nous occuper de ce travail dans les Comptes rendus de décembre 1904, page 839.

*1re livraison de 1905.*

**Exploitation du minerai de fer oolithique de la Lorraine,** par M. Bailly, Ingénieur des Mines.

Cette note a pour objet de donner un aperçu des questions techniques et économiques les plus intéressantes se rattachant à l'exploitation des gîtes minéraux de la Lorraine.

Au point de vue technique, l'auteur étudie les divers modes d'exploitation qui se présentent, savoir : les exploitations par affleurements, et les mines profondes exploitées par puits, en indiquant les principales difficultés qui se présentent, les installations, la capacité de production, le coût de premier établissement, etc.

Au point de vue économique, il traite de la main-d'œuvre, des moyens de transport, du prix de revient, des débouchés, etc.

La conclusion de cette étude est qu'il y a un intérêt urgent à mettre rapidement en exploitation intensive la partie riche du bassin pour les produits desquelles on a un débouché immédiat en France ou à l'étranger; le tour des minerais moins riches viendra peu à peu, à mesure que les qualités supérieures s'épuiseront et que, dans une vingtaine d'années, le Luxembourg et la Lorraine annexée commenceront à manquer des minerais à grand rendement, dont ils se servent actuellement.

Résultats d'une **enquête sur les câbles de mines,** par M. Delafond, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

En exécution d'instructions du ministre des Travaux Publics, en date du 20 août 1901, il a été procédé à une enquête sur diverses questions concernant les câbles de mines, et notamment sur les épreuves qu'on fait subir à ces câbles dans les mines. Cette enquête fournit des renseignements intéressants sur les machines à essayer possédées par les diverses Sociétés minières et leur puissance ainsi que sur les causes de la mise hors de service des câbles.

Il nous parait intéressant de reproduire les conclusions auxquelles a donné lieu cette enquête.

L'usure des câbles a lieu, dans les conditons actuelles de fabrication, surtout dans la région de l'enlevage; elle se produit également à la patte, mais généralement d'une manière moins accentuée. C'est donc surtout la patte qu'il y a lieu de surveiller, et qu'il conviendrait de renforcer s'il est possible.

Les essais, lors des coupages à la patte, sont utiles, mais il serait très intéressant de faire en outre des essais sur diverses parties du câble, lors de sa mise hors de service, de façon à permettre d'établir, pour

chaque puits, une relation entre la fatigue à la patte et la fatigue à l'enlevage.

Dans les cas d'insuffisance des machines à essayer que possèdent les mines, on a divers procédés qui permettent d'obtenir des résultats plus ou moins approximatifs, mais les essais directs sont bien préférables. Il est bon de rappeler ici que le Laboratoire du Conservatoire des Arts et Métiers peut, sous ce rapport, venir en aide aux Sociétés de mines et aux fabricants de câbles.

Note sur **la reconnaissance d'un niveau aquifère** dans le Sud-Oranais et dans le Sud-Marocain, par M. D. Levat, Ingénieur Civil des Mines.

De l'étude géologique de ces régions, l'auteur conclut d'abord que, dans les recherches et aménagements des eaux dans le Sud-Oranais et le Sud-Marocain, on peut prévoir, avec une certitude à peu près complète, le genre d'eau qui sera rencontré suivant le terrain auquel on aura affaire. Les eaux les plus à rechercher pour la qualité sont les eaux de dunes, mais elles ne sont malheureusement pas susceptibles de donner de gros débits. Les eaux de niveau des marnes peuvent être sans inconvénient utilisées pour l'alimentation; elles peuvent donner des débits très importants et c'est sur elles qu'il faut compter pour l'alimentation du bétail et l'arrosage, principaux moyens de développement du pays.

Quant aux eaux des zones d'épandage des fleuves et rivières, elles sont généralement souillées ou chargées de sels minéraux; on ne doit donc les rechercher que s'il est matériellement impossible de recourir à d'autres origines.

Note sur **la législation minérale des Pays-Bas**, par M. J. G. Bousquet, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Jusqu'à ces dernières années, la législation minérale des Pays-Bas était essentiellement constituée par la loi française du 21 avril 1810, modifiée toutefois par quelques lois postérieures, pour tenir compte des différences d'organisation des deux pays. Il est bon de dire ici que cette loi était appliquée d'une façon différente de la jurisprudence française, et généralement d'une manière plus rigoureuse.

Mais la découverte, dans le Limbourg hollandais, d'un bassin houiller se prolongeant dans le Limbourg belge, la Campine et la province d'Anvers, a amené le Gouvernement néerlandais à compléter et modifier la législation minérale par des lois récentes.

La présente note a pour objet d'étudier ces modifications. On peut dire que le nouveau régime, sauf le développement donné à l'exploitation directe par l'État, n'est guère que l'extension régulière en la forme de celui qui avait été appliqué entièrement par les actes de concession sous une forme juridiquement discutable.

## SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

### Février 1905.

### District de Paris.

*Réunion du 15 décembre 1904.*

Communication de M. Schmerber sur **les effets des divers fulminants dans les détonateurs industriels.**

L'auteur rappelle les travaux récents de la Commission des substances explosives (Voir *Comptes rendus* d'octobre 1904, page 533) et expose ensuite des recherches à la fois théoriques et pratiques faites sur des capsules de diverses compositions. Les résultats ont été en complète concordance avec ceux de la Commission des substances explosives. On doit admettre, par suite, que les détonateurs à l'acide picrique donnent des effets au moins égaux, sinon supérieurs, à ceux des capsules au fulminate. Mais ces dernières sont préférables au point de vue de l'inaltérabilité et de la régularité. En tout cas, il est de l'intérêt absolu des exploitants de conserver les détonateurs dans des endroits secs et de les soumettre à des épreuves fréquentes de contrôle qui leur garantissent le bon état des capsules mises en service.

Communication de M. Gruner sur ses **souvenirs de voyage aux États-Unis.** Mines et Métallurgie.

L'auteur signale les évolutions successives de la fabrication de la fonte et l'immense développement de sa production qui a passé de 9,5 millions de tonnes en 1897 à 18 millions en 1902.

Il appelle ensuite l'attention sur le second fait caractéristique, la concentration de la métallurgie américaine en un immense trust, accompagné de la spécialisation absolue des grandes usines. Cette concentration a été réalisée par l'*United States Steel Corporation* qui, au 31 décembre 1903, comprenait :

86 hauts fourneaux produisant 7 300 000 t de fonte;

98 convertisseurs Bessemer et 141 fours Martin, produisant 9 200 000 t de lingots d'acier;

45 000 ha de terrain houiller, dont le charbon a permis de fabriquer 8 700 000 t de coke dans 22 500 fours, dont près de 500 à récupération;

550 km de conduites amenant aux usines le gaz naturel. Ces usines occupent 168 000 ouvriers, qui ont touché pour 600 000 f de salaires.

Mais, malgré cette concentration et la puissance de cet outillage, M. Gruner pense que, pour les produits métallurgiques, la question du prix de revient résultant du haut prix de la main-d'œuvre protégera l'Europe contre l'invasion des produits américains.

District de Saint-Étienne.

*Réunion du 16 décembre 1904.*

Communication de M. Vicaire sur son **voyage à l'Exposition de Saint-Louis et aux États-Unis.**

L'auteur débute par donner une idée de l'immensité de l'Exposition de Saint-Louis par ce simple fait, que son emplacement occupait 500 ha, alors que celui de l'Exposition de 1900, à Paris, n'arrivait qu'à 135; on a donc pu dire, sans exagération, que l'Exposition de Saint-Louis n'était pas seulement la plus grande des expositions passées, mais qu'elle l'emportera encore, par ses dimensions, sur toutes les expositions futures. Il est vrai que cette immensité n'allait pas sans de nombreux inconvénients; les bâtiments, qu'on avait eu soin de ne faire qu'à un seul étage, n'occupaient qu'un dixième de la surface, et, dès qu'on s'écartait un peu de la région centrale, on rencontrait des prairies incultes et des forêts presque vierges, sans parler de marais et de fondrières, pour peu qu'il eût plu dans la journée.

M. Vicaire donne une description succincte, mais intéressante, des divers palais et insiste sur la question des palais étrangers, parmi lesquels il cite notamment ceux de la France, de l'Allemagne et du Japon. Il fait ensuite une visite rapide des différentes sections : palais des transports, bâtiment des chaudières, palais de l'électricité, palais de l'éducation et de l'économie sociale, exposition des mines et de la métallurgie, etc.

**Production houillère du Pas-de-Calais et du Nord** en 1904 et 1903.

Le bassin du Pas-de-Calais a produit, en 1904, un total de 16 303 515 t, contre 16 595 781, en 1903; ces chiffres sont presque identiques.

Le bassin du Nord a produit 6 499 000 t en 1904, contre 6 323 000 en 1903; la différence est également très faible. Sur ce chiffre, les mines d'Anzin figurent pour 3 141 000 t, soit tout près de la moitié. Les deux bassins ont produit 1 543 000 t de coke et 913 500 d'agglomérés en 1904, contre 1 562 000 et 868 000 en 1903.

---

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

---

N° 9. — *4 Mars 1905.*

Le chemin de fer souterrain de New-York, par F. Köster.

Les nouvelles locomotives électriques du chemin de fer de la Valteline, par E. Cserhati.

Les soupapes de sûreté et particulièrement les systèmes à grande levée, par P. H. Rosenkranz.

Les propriétés caloriques de l'eau et de sa vapeur à des températures élevées, par C. Dieterici.

*Groupe du Rheingau.* — Les voies navigables et en particulier le Rhin.

*Bibliographie.* — Les machines-outils, par H. Fischer.

*Revue.* — Les turbines à gaz. — Les mesurages électriques dans l'exploitation du chemin de fer de la Valteline. — Pont tournant sur le bassin supérieur, à Hambourg. — Nouveau frein électrique pour tramways. — Le croiseur-éclaireur anglais *Sentinel.*

N° 10. — *11 Mars 1905.*

La production du ciment de Portland aux États-Unis d'Amérique, par A. Heller.

*Exposition de Saint-Louis en 1904.* — Le matériel de chemin de fer, par Fr. Gutbrod.

Les nouvelles locomotives électriques du chemin de fer de la Valteline, par E. Cserhati *(fin).*

Prescriptions pour la fourniture de la fonte par l'Association des fondeurs allemands.

*Groupe de Cologne.* — Installations mécaniques de la nouvelle école royale de construction de machines à Cologne. — Propulsion de bateaux de canaux par des moteurs à explosion.

*Revue.* — Office impérial du travail. — Installations hydro-électriques sur le fleuve Puyallup aux États-Unis. — Fournitures de locomotives au Gouvernement japonais. — Le carbonate de baryte. — La rencontre des galeries au tunnel du Simplon.

N° 11. — *18 Mars 1905.*

Les nouvelles locomotives 2/5 et 3/5 des chemins de fer de l'État bavarois, par E. Weiss.

*Exposition de Saint-Louis en 1904.* — Études sur la question de l'électrotechnique, par Cl. Feldmann.

Concours pour le projet d'un pont-route fixe sur le Rhin, entre Ruhrort et Homberg, par K. Bernhard *(suite).*

Basculeur pour wagons à houille, construit par la Société J. Pohlig, à Cologne-Zollstock, par Fr. Frölich.

*Groupe de Bavière.* — Le rôle de l'électrochimie dans l'industrie moderne.

*Groupe de Francfort.* — Prescriptions ministérielles sur l'installation des appareils d'alimentation des chaudières à vapeur.

*Groupe de Schleswig-Holstein.* — Nouvelles dispositions de condenseurs à surface pour navires.

*Bibliographie.* — Méthodes de recherches techniques pour le contrôle du fonctionnement des appareils à vapeur, par J. Brand.

*Revue.* — Automobiles à bon marché. — Fondations sur pieux et béton. — Compteur de vapeur de Sargent. — Moteurs à gaz de la Power and Mining Machinery Company.

N° 12. — *25 Mars 1905.*

Expériences sur la transmission du calorique avec le surchauffeur de Heizmann, par O. Berner.

Emploi d'installations mécaniques dans les usines métallurgiques, par Fr. Frölich.

Détermination graphique du poids des volants, par F. Wittenbauer.

Tables graduées pour la détermination des éléments des turbines à vapeur, par D. Banki.

Étude de la distribution Heusinger, par L. Klein.

Ressorts d'indicateurs, par R. Schwirkus.

*Groupe de Poméranie.* — Expériences de rendement sur les chaudières et machines à vapeur.

*Groupe de Schleswig-Holstein.* — Économie à réaliser par un contrôle sérieux dans les installations de chauffage.

*Bibliographie.* — Études économiques dans le domaine des grandes entreprises industrielles, par O. Stillich. — Bases de la théorie de la chaleur, par I. Weyrauch. — La mécanique dans son développement, par F. Mach.

*Revue.* — Dispositions pour le lancement des navires. — Fours rotatifs pour la fabrication du ciment de Portland. — Le canal de Panama. — Le chemin de fer du Cap au Caire.

*Pour la Chronique et les Comptes rendus :*

A. MALLET.

# BIBLIOGRAPHIE

## V[e] SECTION

**Abrégé de la chimie des parfums**, par P. Jeaucard, Ingénieur des Arts et Manufactures, et C. Satie, chef de laboratoire de la maison Jeaucard fils (1).

La chimie des parfums est devenue une branche importante de la chimie industrielle, et les ouvrages traitant de l'étude des parfums sont aujourd'hui assez nombreux en France et à l'étranger. Le volume de MM. P. Jeaucard et C. Satie, qui vient accroître la collection de l'Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire, résume sous une forme claire et précise les données principales de la chimie et de l'industrie des parfums.

Après avoir indiqué les procédés d'extraction, actuellement usités, et la classification des parfums, les auteurs décrivent sommairement, mais cependant avec tous les détails suffisants, les méthodes d'analyse susceptibles d'être employées dans l'étude des parfums, et s'occupent ensuite de leurs constituants.

Dans cette seconde partie de l'ouvrage, les corps sont groupés d'après leur fonction chimique, et dans une série de tableaux se trouvent réunies les différentes constantes des corps envisagés. Chaque groupe est précédé des réactions générales de la fonction et de la manière de la caractériser.

La troisième partie comprend l'étude des essences classées par ordre alphabétique, ordre le plus convenable pour un aide-mémoire. Pour chaque essence on trouve des renseignements sur la famille botanique, le procédé d'extraction à employer, le rendement, les constituants avec leurs proportions, et enfin les constantes physiques et chimiques.

L'emploi de chiffres précis pour indiquer la viscosité et la solubilité dans l'alcool des essences et des constituants est une innovation méritant d'être signalée.

La quatrième partie, très courte, donne la description et la composition des principaux baumes, gommes, résines et drogues employés en parfumerie.

Cet aide-mémoire, contenant de nombreux renseignements théoriques et pratiques, sera certainement très utile à consulter par les chimistes et les parfumeurs.

F. C.

(1) In-8°, 190 × 120, de 191 p. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C[ie], 1904. Prix broché : 2,50 f.

**Actualités scientifiques, 1904,** par Max de Nansouty (1).

Cet ouvrage de vulgarisation scientifique sera lu avec intérêt par tous ceux qui n'ont pas suffisamment de temps pour se mettre au courant des progrès de notre époque dans des revues ou des traités spéciaux, ainsi que par ceux qui, peu initiés aux sciences pures et appliquées, tiennent à avoir une idée des découvertes et actualités scientifiques.

L'ouvrage est divisé en chapitres, correspondant aux diverses branches des travaux du savant et de l'Ingénieur, et dans lesquels l'auteur a groupé tout ce qui s'est produit de nouveau et d'intéressant dans ces dernières années en physique, en chimie, en astronomie et météorologie, en électricité et ses applications, en mécanique, en agriculture, en hygiène, en psychologie et physiologie.

Les deux sports si passionnants de l'automobilisme et de l'aérostation occupent une place toute spéciale dans les chapitres, dont ils dépendent. Dans les autres, nous citerons principalement le radium et la radioactivité, la télégraphie sans fil, l'électrolyse, la catalyse, l'ozonisation, la fixation de l'azote, le verre et le ciment armés.

A côté de ces sujets, touchant aux découvertes et aux travaux de haute importance du Savant et de l'Ingénieur, l'auteur en traite d'autres, qui sont surtout d'actualité, et il le fait en un style qui sait rendre intéressantes toutes les questions traitées.

En résumé, l'ouvrage de M. Max de Nansouty, dont le talent de vulgarisateur est depuis longtemps apprécié, instruira sous une forme attrayante les lecteurs qui aiment à se tenir au courant des découvertes et des progrès scientifiques.

F. Clerc.

---

**Détermination des espèces minérales,** par L.-M. Granderye, Ingénieur-Chimiste, Préparateur à l'Université de Nancy (2).

Cet ouvrage, fait dans le but de faciliter les recherches et déterminer rapidement les minéraux, offre de l'intérêt pour tous ceux qui s'occupent de minéralogie. Étudiants ou prospecteurs y trouveront un résumé des principales propriétés des minéraux, leur permettant d'en fixer avec certitude l'espèce. Il contient sous une forme réduite et décrit en quelques lignes une grande quantité d'espèces minérales, qui ont été groupées d'après leurs propriétés organoleptiques, physiques, mécaniques et chimiques.

Quatre parties composent l'ouvrage :

Dans la première sont rangés les minéraux d'après leurs propriétés organoleptiques : couleur, forme cristalline, etc.

L'ordre alphabétique a été adopté, de même que dans le reste de l'ouvrage pour le classement des espèces.

(1) Un vol. in-8° de 325 p. — Paris, Schleicher frères et Cie, éditeurs, 1904. — Prix broché : 3,50 f.

(2) In-8°, 190 × 120, de 184 p. Paris, Gauthier-Villars, Masson et Cie, 1905. Prix broché : 2,50 f.

La deuxième partie donne la façon de prendre la densité des minéraux, d'en déterminer la dureté, de faire un clivage, etc. Elle contient de plus des tables où les minéraux sont groupés d'après leurs propriétés ci-dessus énumérées.

L'analyse par voie sèche occupe la troisième partie. Tous les essais permettant d'analyser rapidement un minéral sont décrits avec le plus grand soin.

Enfin la quatrième partie, qui termine l'ouvrage, n'est autre qu'un lexique de près de 600 minéraux avec leurs propriétés principales, facilitant la vérification des conclusions tirées de la consultation des autres parties.

F. C.

---

## VIe SECTION

### L'Électricité à la portée de tout le monde,
par Georges CLAUDE (1).

Comme son titre l'indique, cet ouvrage de M. Georges Claude est une œuvre de vulgarisation, mais de vulgarisation réellement scientifique faite par un jeune savant doué d'un talent d'exposition tout à fait remarquable. A l'inverse de la généralité des auteurs d'ouvrages de vulgarisation (et le cas est si rare qu'il vaut qu'on le cite), M. Georges Claude *connait bien son sujet* et sait l'exposer dans un style à la fois clair, simple et précis. D'aucuns trouveront peut-être un peu familier le style imagé de l'auteur, mais cette familiarité est toujours de bon aloi et bien française. D'ailleurs, l'ouvrage de M. Claude en est actuellement à son vingt-deuxième mille, ce qui, pour un ouvrage scientifique, est un véritable succès de librairie. Certains puristes scientifiques trouveront critiquables à divers égards les comparaisons hydrauliques et mécaniques employées par l'auteur pour faire comprendre à ses lecteurs les phénomènes d'électricité dynamique. Certes les comparaisons de ce genre ne peuvent être rigoureuses, mais, pour bien comprendre les phénomènes physiques, elles sont nécessaires même aux esprits les plus élevés, et on nous permettra, je pense, de rappeler ici les paroles suivantes d'un des plus grands savants dont s'honore l'Angleterre et l'humanité tout entière, sir William Thomson, aujourd'hui lord Kelvin :

« Il me semble, dit ce savant, que le vrai sens de la question : « Com-
» prenons-nous ou ne comprenons-nous pas un sujet particulier en phy-
» sique? est : « Pouvons-nous faire un modèle mécanique correspon-
» dant? » (*Moléc. Dyn.*, p. 132.)

Et plus loin :

« Je ne suis jamais satisfait, tant que je n'ai pas pu faire un modèle
» mécanique de l'objet; si je puis faire un modèle mécanique, je com-
» prends; tant que je ne puis pas faire un modèle mécanique, je ne com-
» prends pas... » (*Moléc. Dyn.*, p. 270.)

(1) In-8°, 255 × 165, de 479 p. avec 232 fig. Paris, Vve Ch, Dunod, 1905, 5e édition, 22e mille. Prix broché : 7,50 f.

C'est en s'inspirant de cette méthode si nécessaire, il faut bien le dire, à la faiblesse de notre esprit, que M. Georges Claude a su exposer, toujours avec clarté et bien souvent avec une réelle précision, les phénomènes électriques.

Enfin, M. Claude a ajouté à cette cinquième édition de son ouvrage plusieurs chapitres consacrés à la télégraphie sans fil, aux rayons X et aux récentes découvertes des corps radioactifs dont le *radium* est le prototype si étrange.

Bien qu'étant une œuvre de vulgarisation scientifique, l'ouvrage de M. Georges Claude ne sera nullement déplacé dans la bibliothèque de l'Ingénieur soucieux de se maintenir au courant des récents progrés de la science.

R. Arnoux.

---

**Notions d'électricité,** par Jacques Guillaume (1).

Le livre de M. Jacques Guillaume est le résumé des cours qu'il professe à la Fédération nationale des Chauffeurs, Conducteurs, Mécaniciens, Automobilistes et parties similaires. Il s'adresse donc d'une façon toute spéciale aux professionnels de l'industrie et aux ouvriers intelligents qui désirent s'instruire et élever leur esprit.

Ce livre s'adresse aussi aux industriels, car l'électricité a si rapidement progressé, depuis quelques années, que les gens du métier, seuls, ont pu se tenir à peu près au courant de son évolution.

Il est nécessaire que tous ses progrès soient vulgarisés et que tous les usiniers puissent profiter de la souplesse de cet élément qui doit rendre des services dans toutes les industries.

L'auteur a suivi, dans son livre, les mêmes procédés de description qui réussissent si bien dans les cours; il a employé presque uniquement les figures simples qui ne sont que la reproduction de croquis qui peuvent se faire au tableau noir. Ces croquis sont très clairs et combinés de la façon la plus heureuse.

Il n'y a pas de description de détails de machines, mais les principes généraux sont précisés avec le plus grand soin.

Les idées générales sont aussi développées ainsi que les tendances actuelles et les résultats bien acquis et indiscutés.

C'est un travail d'allure élémentaire dans lequel on a cherché constamment la généralisation; mais il a le mérite de s'être inspiré de cette idée, très juste, que si l'électricité semble encore, pour quelques-uns, entourée de mystère, c'est que les points de repère manquent pour rattacher les apparences observées aux phénomènes simples et connus.

L'auteur a pensé que la forme pouvait, dans une large mesure, aider à faire passer l'aridité des sujets traités; aussi ses développements ont-ils été écrits avec une certaine recherche qui en rend la lecture des plus agréables sans nuire en rien à la précision.

H. Laurain.

(1) In-8°, 225 × 114 de IX-351 pages avec 154 figures. Paris, Gauthier-Villars, 1905. Prix, broché : 7,50 f.

**La Technique des Courants alternatifs à l'usage des Électriciens et des Ingénieurs,** par G. Sartori. Traduit de l'italien par J.-A. Montpellier. — Tome second : *Développements et calculs pratiques relatifs aux phénomènes du courant alternatif* (1).

Les qualités que nous avons signalées dans l'analyse du premier volume se reproduisent dans le second : on y retrouve le même souci de la clarté et de la rigueur d'exposition.

Puisqu'il s'agit de calculs relatifs aux courants alternatifs, ce second volume contient avant tout des développements analytiques.

L'auteur a simplifié ceux-ci autant que possible, mais il est bien évident qu'une partie des lecteurs du premier volume ne pourra entreprendre l'étude du second : il en est d'ailleurs toujours ainsi quand on arrive au chapitre du calcul des courants alternatifs qui exige une sérieuse préparation préalable.

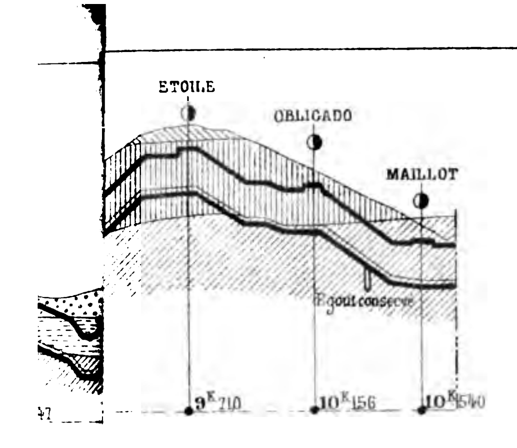
Toutefois, l'ouvrage pourra être abordé avec la moindre préparation possible, et ce sera son principal mérite.

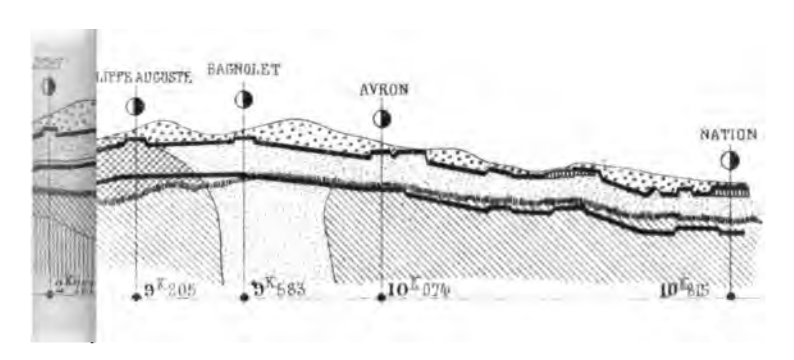
(1) In-8°, 255 × 165, de VII-634 p. avec 276 fig. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix broché, 20 francs.

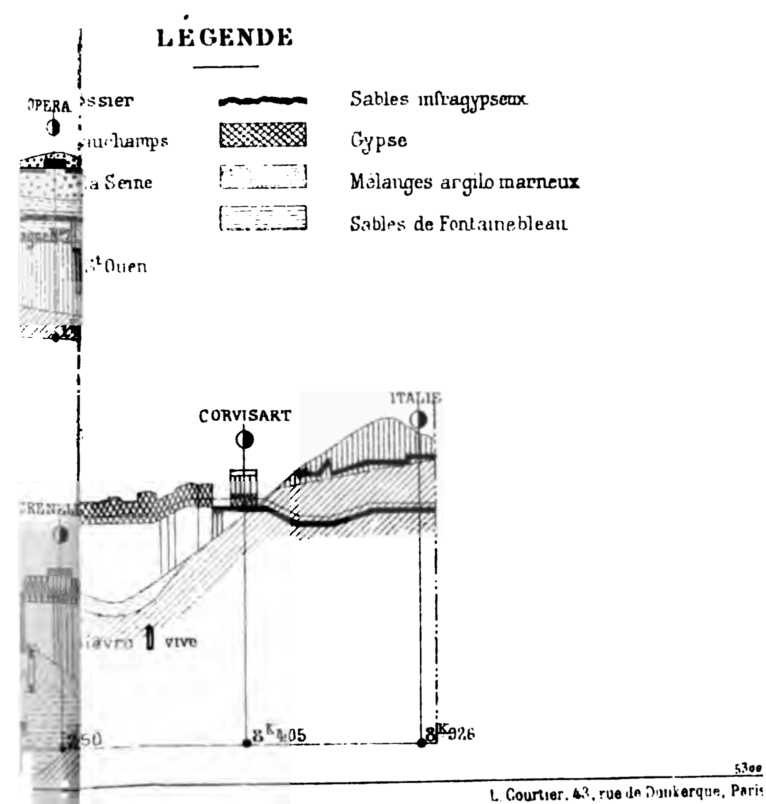
---

*Le Secrétaire Administratif, Gérant,*
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 6142-3-05. — (Encre Lorilleux).


ETOILE
OBLIGADO
MAILLOT
Egout conservé
9K 710
10K 156
10K 540


BAGNOLET
AVRON
NATION
9K 583
10K 074
10K 805


LÉGENDE
Sables infragypseux
Gypse
Mélanges argilo marneux
Sables de Fontainebleau
OPERA
CORVISART
vive
8K 405
8K 926
L. Courtier. 43, rue de Dunkerque, Paris

# MÉMOIRES

ET

# COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

---

# BULLETIN

D'AVRIL 1905

---

N° 4

---

## OUVRAGES REÇUS

---

Pendant le mois d'avril 1905, la Société a reçu les ouvrages suivants :

**Chemins de fer et Tramways.**

Baudry (Ch.). — *Locomotives compound à grande vitesse et à trois essieux couplés de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée*, par M. Ch. Baudry (Extrait de la Revue générale des chemins de fer et des tramways. N° de février 1905) (in-4°, 315 × 225 de 9 p. avec 3 pl.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'auteur, M. de la S.). 43752

*Chemins de fer, Postes, Télégraphes, Téléphone et Marine. Compte rendu des opérations pendant l'année 1903* (Royaume de Belgique. Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes) (in-4°, 315 × 195 de A-187 p. ; B-24; C-32; D-11; xi pages avec 1 carte). Bruxelles, J. Goemaere, 1904. 43760

**Construction des Machines.**

*Compte rendu des séances du 28e Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur tenu à Paris en 1904* (in-8°, 250 × 165 de 304 p.). Paris, Imprimerie E. Capiomont et Cie. 43776

JURTHE (E.), MIETZSCHKE (O.) et VARINOIS (M.). — *Le fraisage*, par Émile Jurthe et Otto Mietzschke. Deuxième édition allemande traduite, par M. Varinois (in-8°, 255 × 165 de VII-361 p. avec 371 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43770

RODIER (H.). — *Automobiles. Vapeur. Pétrole. Électricité. Annuaire technique. Formulaire aide-mémoire des sciences, de l'industrie et des Travaux publics*, rédigé par un Comité d'Ingénieurs, Architectes, Constructeurs, Industriels et Jurisconsultes, sous la direction de H. Rodier (in-4°, 320 × 225 de 152 p. à 2 colonnes et 282 fig.). Paris, 64, rue de la Victoire (Don de l'auteur). 43761

## Économie politique et sociale.

*Tableau général du commerce et de la navigation. Année 1903. Deuxième volume. Navigation (Navigation internationale. Cabotage français et Effectif de la marine marchande)* (République française. Direction générale des Douanes) (in-4°, 365 × 275 de 479-456 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1904. 43772

## Électricité.

ANCEL (L.). — *Communication sur les variations de résistance électrique sous l'influence de la lumière des corps autres que le sélénium*, par L. Ancel (Extrait du Rapport du Ve Congrès international de chimie appliquée, Berlin 1903. Xe Section, Volume IV, page 559) (in-8°, 260 × 165 de 3 p.). Berlin, Deutscher Verlag, 1904 (Don de l'auteur, M. de la S.). 43757

ANCEL (L.). — *Notice sur une dynamo universelle de laboratoire*, par L. Ancel (in-8°, 215 × 135 de 8 p. avec 2 pl.). Paris, H. Desforges, 1901 (Don de l'auteur, M. de la S.). 43755

ANCEL (L.). — *Notice sur une pile à écoulement et sur la fabrication des accumulateurs*, par L. Ancel (in-8°, 215 × 135 de 11 p. avec 4 fig.). Paris. H. Desforges (Don de l'auteur, M. de la S.). 43756

GUILLAUME (J.). — *Notions d'électricité. Son utilisation dans l'industrie*, d'après les Cours faits à la Fédération nationale des Chauffeurs. Conducteurs, Mécaniciens, Automobilistes de toutes industries, par Jacques Guillaume (in-8°, 230 × 140 de IX-351 p. avec 154 figures). Paris, Gauthier-Villars, 1905 (Don de l'éditeur). 43767

## Législation.

*Annuaire de l'Association amicale des anciens Élèves de l'École Centrale des Arts et Manufactures. Promotions de 1832 à 1904* (in-8°, 225 × 145 de 712 p.). Paris, Siège social de l'Association, 1905. 43754

*Annuaire de la Société centrale des Architectes français. Annuaire de la Caisse de défense mutuelle des Architectes. 1905* (in-8°, 240 × 160 de 105-8 pages). Paris, Siège de la Société. 43765

*Bulletin de l'Association française pour la protection de la propriété industrielle fondée le 21 avril 1899. Troisième volume. Seconde partie. Compte rendu du Congrès de Paris, 7 au 10 mars 1904* (in-8°, 240 × 155, pages 197 à 588). Paris, Siège social, 1905. 43774

*Société des Ingénieurs Civils de France fondée le 4 mars 1848. Annuaire de 1905.* Revisé par la Commission spécialement nommée à cet effet. *58e année* (in-8°, 240 × 155 de 479 p.). Paris, Hôtel de la Société, 1905. 43773

**Métallurgie et Mines.**

Buchetti (J.). — *La fonderie de cuivre actuelle. Bronzes, laitons, aluminium, etc. Procédés, outils, matériel*, par J. Buchetti (in-8°, 280 × 190 de x-214 p. avec 180 fig. et atlas 275 × 200 de 20 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1905. 43762 et 43763

Buchetti (J.). — *Les alliages métalliques actuels et leur métallographie*, par J. Buchetti (in-8°, 230 × 145 de xii-191 p. avec 77 figures dont 9 planches hors texte). Paris, Ch. Béranger, 1905. 43764

Noble (H.). — *Fabrication de l'acier*, par H. Noble (in-8°, 255 × 165 de vii-600 p. avec 94 fig. et ix pl.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43769

**Navigation aérienne, intérieure et maritime.**

*Association internationale permanente des Congrès de navigation. Catalogue des publications se rapportant aux Congrès de navigation* (in-8°, 235 × 155 de 288 pages). Bruxelles, Imprimerie des Travaux publics, 1904. 43768

**Sciences Mathématiques.**

Wickerseimer (E.). — *Les principes de la Mécanique*, par M. E. Wickerseimer (in-8°, 225 × 140 de 130 p. avec 11 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905 (Don de l'éditeur). 43771

**Sciences morales. — Divers.**

Maindron et Schutzenberger. — *L'œuvre de Jean-Baptiste Dumas*, par M. Maindron, avec une Introduction, par M. Schützenberger (in-8°, 230 × 145 de 64 p.). Paris, G. Masson, 1886 (Don de A. Mallet, M. de la S.). 43775

**Technologie générale.**

*Congrès de Lyon, 7, 8, 9 novembre 1904. Compte rendu des séances plénières et vœux adoptés* (Le Moniteur des Syndicats patronaux. Organe de la Fédération nationale des Chambres syndicales patronales françaises de l'Industrie, du Bâtiment et des Travaux publics. Publication mensuelle. 4e année. Décembre 1904. N° 12) (in-4°, 270 × 215, pages 232 à 312). Paris, au Siège social de la Fédération. 43751

*Conservatoire national des Arts et Métiers, 1904. Rapport général du Conseil d'administration du Conservatoire national des Arts et Métiers sur l'état du Conservatoire, le fonctionnement des services et les résultats de l'enseignement* (Application de l'article 15 du décret organique du 19 mai 1900) M. A. Liébaut, rapporteur (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes) (in-8°, 245 × 160 de 35 p.) (Don du Ministère du Commerce). 43753

*Rapports du Jury international. Groupe XVI. Économie sociale. Hygiène Assistance publique. Troisième partie. Classes 109 à 111* (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900. à Paris) (in-8°, 295 × 195 de 615 p. avec 44 fig.). Paris, Imprimerie nationale, 1904 (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900). 43750

*Société Belge des Ingénieurs et des Industriels. Rapport annuel. Exercice 1903-1904* (in-8°, 235 ×, 150 de 55 p.). Bruxelles, L'Imprimerie nouvelle, 1905. 43758

*Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Vol. XXV. 1904* (in-8°, 245 × 150 de XLVIII-1.155 p. avec 527 illustrations). New York City, Published by the Society, 1904. 43759

*Twenty-Five Years of Progress. Being a Slight Historical Sketch of the Civil Engineers' Club of Cleveland, 1880-1905* (in-16, 155 × 100 de XIX p. avec 21 photographies des anciens présidents). Cleveland O. The Civil Engineers' Club, 1905. 43766

# MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

---

Les Membres nouvellement admis pendant le mois d'avril 1905, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

| | | |
|---|---|---|
| G. Daloz, | présenté par MM. | Huguenot, Lacage, Laurain. |
| L.-P. Hulin, | — | E. Cornuault, F. Clerc, Gall. |
| A. Leloup, | — | Coiseau, Groselier, Chagnaud. |
| E. Lemaire, | — | Égrot, Havequez, Marchandier. |
| A.-A. Michaut, | — | Bernaville, L. Escande, Goenaga. |
| A.-J. Requier, | — | Coiseau, Arnodin, Windsor. |

---

# RÉSUMÉ

DES

# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'AVRIL 1905

---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 7 AVRIL 1905.

---

PRÉSIDENCE DE M. A. HILLAIRET, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaître le décès de MM.

Étienne Breton, Membre de la Société depuis 1875, Chef de section, en retraite, de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est ;

Alphonse Grimault, Membre de la Société depuis 1883, Chevalier de la Légion d'honneur, Métallurgiste ;

Louis Le Brun, ancien élève des Arts et Métiers (Angers 1839), Membre de la Société depuis 1858, Chevalier de la Légion d'honneur, ancien Constructeur, Inspecteur départemental de l'Enseignement technique ;

Paul Martin, ancien Élève de l'École Centrale (1887), Membre de la Société depuis 1899, Ingénieur Directeur de la Société anonyme des papiers Abadie ;

Denis Poulot, ancien Élève des Arts et Métiers (Châlons 1849), Membre de la Société depuis 1883, Officier de la Légion d'honneur, Manufacturier, Président Honoraire de la Société des Anciens Élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers ;

Enfin celui de M. G. Forestier, ancien Élève de l'École Polytechnique (1857), Membre d'Honneur de la Société depuis 1899, Officier de la Légion d'honneur, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, en retraite, Membre fondateur de l'Automobile-Club de France et Président de la Commission technique de cette même Société.

Tous nos Collègues savent combien était grand l'intérêt que M. Forestier a porté à notre Société, et dont il nous a donné des témoignages in-

cessants par les nombreuses et intéressantes communications qu'il était toujours disposé à nous faire sur la question de l'Automobile et de toutes les études qui s'y rattachent et dans lesquelles sa compétence spéciale était si appréciée de tous.

M. le Président adresse aux familles de tous ces Collègues les sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer les décorations suivantes. Ont été nommés :

Officiers d'Académie : MM. A. Contrestin, A Lecomte et A. Collet.

Officier du Mérite Agricole : M. A. Lecomte.

Chevaliers du Mérite Agricole : MM. T. Huber, H. Luchaire, Max Richard, E. Surcouf et H.-C. de Thermeau.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains Bulletins.

M. le Président fait connaître que M. André Requier, Membre nouvellement admis, a remis une somme de 25 francs pour le fonds de secours. Il adresse à M. Requier les vifs remerciements de la Société.

M. le Président annonce également que notre Collègue M. A.-J.-P. Bonneville nous a remis un pli cacheté.

Conformément aux traditions, ce pli sera déposé aux Archives.

M. le Président fait connaître qu'un voyage en Belgique va être organisé à l'occasion de l'Exposition de Liège.

Au cours de ce voyage, que le Bureau et le Comité ont étudié dans tous ses détails, on visitera les travaux de Bruges, Zée-Bruges, ceux d'Anvers, l'Exposition de Liège et quelques grandes usines avoisinantes, enfin les travaux de Bruxelles.

Le programme provisoire est actuellement le suivant :

Dimanche 23 juillet, départ de Paris. Coucher à Bruges.

Lundi 24 juillet, visite de Bruges, Zée-Bruges. Coucher à Anvers.

Mardi 25 juillet, visite d'Anvers, Coucher à Anvers.

Mercredi 26, jeudi 27 et vendredi 28 juillet, Liège et environs, Seraing, etc.

Samedi 29 juillet, départ pour Bruxelles.

Départ pour Paris le même soir ou le dimanche 30 juillet.

Une circulaire spéciale sera envoyée dans quelque temps aux Membres de la Société et M. le Président insiste sur la nécessité qu'il y aura de se faire inscrire, le plus tôt possible, en vue de permettre l'organisation éventuelle d'un train spécial et des logements dans les différentes villes que nous devons visiter. Cette dernière question, en effet, est importante, vu le grand nombre de personnes qui ne manqueront pas de se trouver à Liège, en raison de l'Exposition qui doit y avoir lieu.

M. le Président dit que, sur la demande de la sixième Section du Comité, M. Semenza a bien voulu préparer une conférence sur les installations hydro-électriques de la Haute-Italie.

En lui souhaitant la bienvenue, M. le Président remercie M. Semenza d'être venu tout exprès de Milan pour prendre aujourd'hui la parole devant la Société. Il est sûr de trouver des auditeurs qui l'écouteront avec le plus grand intérêt et la plus grande sympathie.

M. Semenza a la parole pour sa communication sur *les Installations hydro-électriques de la Haute-Italie.*

M. Semenza commence par un aperçu des lignes hydrologiques de la Haute-Italie.

Il indique que l'hydrologie de cette région se confond avec celle du fleuve Pô, dans lequel viennent se jeter presque tous les cours d'eau de la Haute-Italie.

Il montre ensuite comment, en raison des anciennes utilisations de l'eau pour l'irrigation et la navigation, le pays était déjà préparé à utiliser, avec les moyens modernes, les forces que la nature mettait à sa disposition, et cela d'autant mieux que l'Italie manque presque complètement de combustible minéral.

Enfin, la législation italienne sur les transmissions électriques d'énergie a coopéré avec les deux causes ci-dessus indiquées.

Pour faciliter les installations hydro-électriques, en effet, cette loi oblige les propriétaires des terrains à laisser passer sur leurs propriétés les lignes électriques.

M. Semenza donne ensuite un aperçu historique des installations hydro-électriques. Il parle des premiers essais, et rappelle que l'installation de Gênes a été la première ayant une certaine importance.

C'est après l'installation de Paderno que les grandes installations hydro-électriques ont commencé à se faire en Haute-Italie.

Le conférencier passe ensuite à la description des installations les plus importantes, en commençant par les différentes centrales qui desservent la ville de Turin.

Il fait ensuite une description détaillée de l'installation de Paderno et de celle de Brindo qui fournissent le courant à Milan et à Monza et à toute la région qui environne ces deux villes.

Dans ces installations, il y a plusieurs choses très remarquables : leur grandeur, leur modernité et la manière dont les lignes de transmission sont construites.

Le conférencier insiste sur la disposition des lignes avec supports élastiques en fer, ce qui permet de réduire d'une manière remarquable les dépenses d'installation des lignes mêmes.

Une installation très intéressante qu'il décrit ensuite est celle de la Societa Lombarda, qui distribue environ 25 000 chevaux, dans une zone d'environ 2 000 km². Cette zone ne contient pas de villes importantes, mais elle est une des régions les plus industrielles de la Haute-Italie.

M. Semenza donne ensuite une idée des installations qui existent et de celles qui sont encore en projet pour la ville de Gênes.

L'un des caractères saillants de ces installations est d'avoir des grands réservoirs d'un côté de la montagne, tandis que les installations hydro-électriques sont de l'autre côté. L'eau est amenée d'un côté à l'autre par des tunnels.

Parmi les grandes installations il y a encore celle de Venise, qui a une transmission de force à 30 000 volts sur une longueur de 90 km.

Le conférencier passe ensuite à une description rapide des installations moyennes, dont une partie est destinée à des petites villes, une autre à des fabriques et ateliers.

Il cite également les toutes petites installations dont il fait ressortir l'importance.

M. Semenza résume les caractères techniques des installations italiennes dont l'un des principaux est l'application de l'éclectisme aux installations électriques.

Sur le coût d'établissement, sur le prix de revient et le prix de vente de l'énergie, M. Semenza ne donne que des chiffres moyens, car il n'est pas possible d'avoir des chiffres individuels.

Dans la dernière partie de sa communication, il montre les effets du développement des installations hydro-électriques sur les industries du pays, développement qui a été, dans ces dernières années, très sensible. Il évalue le total des chevaux installés dans les usines hydro-électriques à 160 000, avec une augmentation annuelle d'environ 17 000.

Ces forces sont en partie destinées à se substituer aux machines à vapeur, et aussi dans une forte proportion à permettre le développement des industries existantes et à en créer de nouvelles.

Le conférencier conclut par quelques mots sur les forces encore disponibles et par un aperçu de l'avenir industriel de la Haute-Italie dont il fait un tableau très optimiste.

M. le Président remercie M. Semenza de sa belle conférence dont les aperçus variés nous ont vivement intéressés, depuis le préambule historique jusqu'à la description des installations les plus récentes : l'installation primitive de Milan qui fût la première station centrale en Europe, les essais de Lanzo à Turin avec les transformateurs de notre infortuné compatriote Gaulard, dont les traits ont été ciselés dans le marbre à Lanzo même, les essais trop peu connus de Tivoli à Rome avec les mêmes appareils Gaulard, puis la grandiose installation de Paderno sur l'Adda qui alimente Milan en courant triphasé à 14 000 volts efficaces entre fils et qui a été le point de départ d'études et de travaux d'où sont sorties des installations plus hardies en tensions et en distances ; les distances maxima atteignent 140 kilomètres et les tensions tendraient à dépasser, d'après ce que vient de nous dire M. Semenza, 40 000 volts.

M. le Président a le devoir de signaler que M. Semenza a collaboré à plusieurs des installations dont il nous a entretenus, et, en particulier, à l'installation de l'usine de Paderno. M. Semenza, qui est l'auteur de travaux théoriques estimés, s'est fait une spécialité de l'étude des lignes électriques : il y a une méthode de M. Semenza pour faciliter la recherche des conditions les plus avantageuses d'établissement des lignes.

Enfin, en nous montrant à la fin de sa conférence les progrès de l'industrie italienne, M. Semenza a pris soin d'insister sur ce que, si la science n'a pas de patrie, l'industrie en a une. Je le remercie de nous avoir rappelé cet axiome économique : nous ne pouvons que féliciter nos Collègues italiens de s'appliquer à mettre en pratique d'aussi belles idées.

M. K. Sosnowski a la parole pour sa communication sur *les Chaudières et Machines à vapeur à l'Exposition de Saint-Louis.*

M. Sosnowski dit que les chaudières et machines à vapeur ont été toutes, à quelques exceptions près, réunies à l'Exposition de Saint-Louis dans deux bâtiments distincts : « Steam Gaz and Fuel Building » et « Machinery Hall », séparés l'un de l'autre par une voie de circulation.

Chaudières. — Il y avait en tout 52 chaudières installées, pouvant vaporiser 350 000 l d'eau à l'heure.

En dehors de 5 chaudières françaises et 2 allemandes, toutes les autres étaient de construction américaine.

Ce qui caractérise avant tout ces chaudières, c'est la production de vapeur à *haute pression*, dont le minimum était de 12 1/2 kg. Quelques-unes étaient timbrées à 14 kg (Babcock et Wilcox), à 15 kg (Niclausse et Cahall) et même à 21 kg (Belleville).

Il n'y a pas eu de *surchauffe*. La chaudière Belleville seule était munie d'un surchauffeur.

Les chaudières américaines étaient toutes munies de *grilles mécaniques*: les unes à chaine sans fin (Cahall and Green Travelling Chain Grates), les autres à barreaux inclinés ayant un mouvement de bascule intermittent (Roney Mechanical Stoker).

Contrairement à ce qu'il y avait en 1893, à l'Exposition de Chicago, où toutes les chaudières du Palais des Machines étaient chauffées par du *pétrole*, il n'y avait pas un seul *foyer* de ce genre.

Pour éviter les hautes cheminées très coûteuses dans ce pays, on avait recours à plusieurs cheminées en tôle avec *tirage artificiel* produit par des ventilateurs à vapeur.

L'*alimentation* des chaudières *en charbon* de même que l'*enlèvement des cendres* se faisaient d'une façon automatique.

Les *pompes alimentaires* étaient des types connus, duplex et triplex, horizontales ou verticales. Il n'y avait pas une seule pompe d'alimentation centrifuge.

Dans le même hall on avait établi une *station* complète *contre l'incendie*, comprenant 14 pompes à vapeur Worthington pouvant fournir de l'eau sous pression de 20 kg.

Il y avait aussi installé, contre ce bâtiment, 4 grandes *tours réfrigérantes* à ventilateur pour les machines Westinghouse.

Les principaux exposants des chaudières étaient : Dusseldorf Ratinger Rohrenkessel Fabrik (ancienne maison Durr et C^ie^), à Ratingen, 1 chaudière de 500 ch ; Shutte Kessel Konsortium, à Bremerhaven, 1 chaudière de 400 ch ; J. et A. Niclausse, à Paris, 2 chaudières de 500 ch ; Delaunay Belleville, à Saint-Denis, 3 chaudières de 500 ch ; Alltman Taylor Machinery C°, à Mansfield, Ohio, 8 chaudières de 400 ch, 8 de 508 ch, 3 de 250 ch ; Babcock et Wilcox C°, à New-York, 16 chaudières de 400 ch ; Heine Safety Boiler C°, à Saint-Louis, 8 chaudières de 400 ch ; Cloubrock Steam Boiler C°, à Brooklyn, 1 chaudière de 300 ch et 1 de 250 ch.

Machines a vapeur. — Au point de vue des machines, de même qu'à

celui des chaudières, l'Exposition de Saint-Louis n'avait pas de caractère international, mais presque exclusivement américain.

Il n'y avait que trois exposants étrangers : les Établissements Delaunay Belleville, de Saint-Denis, la Société Alsacienne de Constructions mécaniques de Belfort-Mulhouse et la Société de Laval, de Paris.

Les moteurs exposés appartenaient à deux types distincts : moteurs à piston à mouvement alternatif (27 exposants) et turbines à vapeur (5 exposants).

Les *machines à piston* comprenaient : 2 moteurs monocylindriques, 22 moteurs Compound, par moitié à cylindres parallèles et cylindres en tandem, 2 moteurs à triple expansion, 1 moteur à quadruple expansion; la plupart étaient verticales du type américain bien connu.

Les *turbines* comprenaient : turbines à action, simples ou multiples, horizontales ou verticales, et turbines à réaction, multiples horizontales.

Il n'y avait qu'un seul *moteur rotatif*, exposé par la Seymour Anguish Engine C°, de Chicago.

La *pression* adoptée pour les machines en marche était de 10,5 kg et il n'y a pas eu de *surchauffe*, exception faite pour le moteur Delaunay Belleville qui pouvait marcher à 21 kg et 300 degrés de surchauffe; aussi la distribution par soupapes, particulièrement appropriée à l'emploi des hautes pressions et hautes températures n'avait pas de raison d'être et n'y figurait pas.

La *distribution* la plus employée est la distribution Corliss; une machine est à tiroirs plans, une à tiroir plan pour le cylindre à basse pression et tiroir cylindrique pour tiroir à haute pression. Les autres sont à tiroirs cylindriques ou piston-valves.

D'une façon générale les machines sont dépourvues des *enveloppes de vapeur*, ce qui s'explique par leur grande vitesse.

Les *receivers* sont généralement réchauffés.

La *condensation*, en dehors du type de condenseurs connus, se fait par le condenseur barométrique très employé, aux Etats-Unis, dans les grandes installations. La vapeur et l'eau sont amenées dans un réservoir placé à une hauteur de 11 à 12 m au moins, le mélange se fait au sommet, de même que la séparation de l'air et de l'eau. L'air sortant de la chambre dite barométrique est saturé de vapeur d'eau, mais cette vapeur se condense au moment où l'air passe dans un serpentin refroidi par l'eau d'injection avant d'être aspirée par une pompe spéciale qui n'est qu'une pompe à air sec.

La *puissance totale* des machines en mouvement dépassait 35 000 ch, avec un maximum unitaire de 5 000 ch et une puissance moyenne de 1 200 ch.

La comparaison avec les expositions précédentes fait ressortir l'accroissement considérable des unités.

La *vitesse des pistons* est considérablement augmentée, elle ne descend pas, en moyenne, au-dessous de 3 m.

En résumé :

En fait de machines à piston, il n'y a pas eu, à proprement parler, depuis l'Exposition de 1900, de type entièrement nouveau.

Tout se borne aux perfectionnements des détails pour assurer un bon fonctionnement malgré l'allure de plus en plus rapide des machines à piston. On voit la préoccupation de les rendre peu encombrantes, légères, moins coûteuses. mais la question de rendement n'a pas la même importance que chez nous.

La turbine à vapeur tend à prendre complètement la place des moteurs à piston dans tous les grandes installations et surtout dans toutes les applications électriques.

C'est là certainement la note dominante de l'état actuel de la question et le fait le plus saillant révélé par l'Exposition de Saint-Louis dans l'ordre mécanique.

Alors qu'en 1900, à l'Exposition universelle de Paris, il n'y a eu que deux types de turbines réprésentés, turbines de Laval et Parsons, et sur plus de 36 000 ch de machines en mouvement de la station centrale génératrice, il y a eu seulement 700 ch en turbine (deux de Laval de 350 ch chacune), l'Exposition de Saint-Louis comporte plus de 5 000 ch de turbines en marche.

La visite des grandes usines des États-Unis confirme d'ailleurs, plus que l'Exposition même, le grand mouvement qui se dessine.

Il y a actuellement aux États-Unis une Société pour la construction exclusive des turbines à vapeur « de Laval Steam Turbine C° », à Trenton. La Compagnie Westinghouse, à Pittsburg, construit la turbine Westinghouse-Parsons; la Compagnie General Electric, à Shenectady, construit la turbine Curtis; la Compagnie Hooven-Owens-Rentschler, de Hamilton, construit la turbine Holzwart, genre Rateau; Allis-Chalmers, de Chicago, turbine Fullagar; Harisburh Foundry and Machine Works et d'autres constructeurs se préoccupent de la création de types plus ou moins nouveaux.

Toutes ces machines procèdent de deux types connus : Turbine à action, genre de Laval, ou turbine à réaction, genre Parsons.

Si les États-Unis, après beaucoup d'autres pays, se dirigent actuellement et à pas très rapides dans cette nouvelle voie, on peut affirmer, sans crainte d'être démenti, que la France a été la première à donner le signal de cette révolution industrielle.

M. le Président remercie M. Sosnowski de son intéressante communication, qui a été malheureusement écourtée par suite de l'heure avancée à laquelle elle est venue.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. F. Blondel, A.-V. Brachotte, L. Cabanel, E.-J. Dumesnil, A.-E. Leroy, L. Richard, comme Membres Sociétaires Titulaires.

MM. G. Daloz, E. Faraggi-Vitalis, P.-L. Hulin, A. Leloup, E. Lemaire, A.-A. Michault, A.-J. Requier, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires.

**La séance est levée à 11 heures.**

*L'un des Secrétaires techniques,*

P. Portier.

# LE PORT DE BUENOS-AIRES
# ET SES AGRANDISSEMENTS

PAR

**M. Auguste MOREAU**

---

## Considérations générales. Régime de l'estuaire de la Plata.

Le système fluvial du Rio ou Estuaire de la Plata est le plus vaste du monde après celui de l'Amazone. Le Parana et l'Uruguay, qui l'alimentent, lui amènent les eaux de deux immenses bassins, dont la superficie est de 3 238 500 km².

Le débit moyen de ces deux fleuves, d'environ 28 000 m³ par seconde, s'élève à 45 000 à l'époque des hautes eaux. Le Parana en fournit alors 25 000 et l'Uruguay 20 000. Entre l'entrée de l'estuaire proprement dit, limitée par une ligne qui unit Montevideo à Punta-Piedra, et le delta du Parana qui le termine, la superficie occupée par le Rio de la Plata est de 13 000 km². Sa largeur est de 98 km à Montevideo et de 44 km à Buenos-Aires qui est situé à 200 km en amont de la capitale de l'Uruguay.

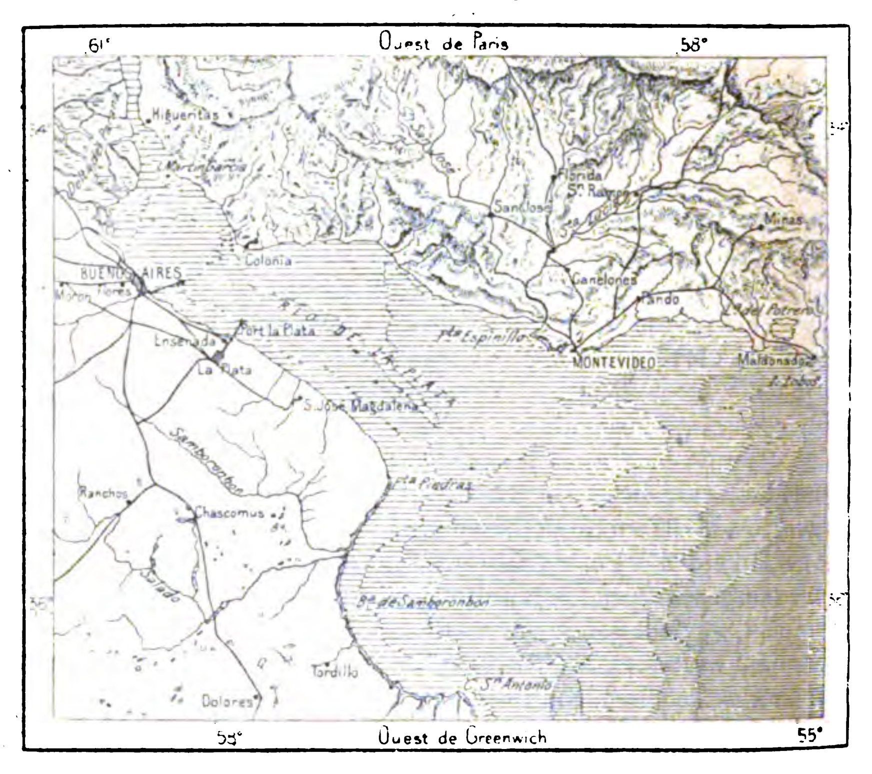
Les marées de peu d'amplitude dans cette région de l'Atlantique sud, se font sentir sur toute l'étendue de cet estuaire et remontent le Parana et l'Uruguay à plus de 150 km.

Juan Diaz de Solis, qui découvrit le Rio de la Plata en 1509, le nomma « Mar Dulce » (Mer d'eau douce). C'est en effet une petite mer, fréquemment troublés par les vents généraux, alizés du Sud-Est, qui prévalent sur cette partie de la côte. De mai à octobre, les alizés soufflent souvent en tempête, suivent l'estuaire dans le sens de sa longueur, en bouleversent les eaux, qu'ils soulèvent parfois de 4,50 m, en les poussant jusque sur les rives du Parana et de l'Uruguay qu'elles inondent. Un autre courant aérien, le « Pampero », qui traverse les plaines de la Pampa, du Sud-Ouest au Nord-Est, et souffle parfois pendant plusieurs jours, produit l'effet contraire. Il fait baisser le niveau des eaux à Buenos-Aires en les refoulant vers l'Atlantique.

Ces vents violents, à brusques écarts, et les courants rapides

et changeants que l'on rencontre dans le Rio de la Plata, en rendent la navigation d'autant plus dangereuse que les fonds se modifient par le dépôt des alluvions fluviales apportées par le Parana et l'Uruguay. Il se forme continuellement de nouveaux bancs qui diminuent peu à peu la profondeur moyenne de l'estuaire.

Sur la rive droite, où Buenos-Aires est construit, apparaissent les affleurements d'une couche assez puissante de roche en voie




Estuaire de la Plata.

de formation, appelée *tosca*, très favorable à l'établissement de fondations. Cette couche présente une déclivité de 0,005 m à 0,006 m par mètre vers le Sud-Est.

Près du rivage, le lit du Rio de la Plata est formé par des sables mouvants qui reposent sur cette couche solide; 2 ou 3 km plus loin, dans le fleuve, on trouve des bancs de sable entourés de vase; enfin, plus au large, en eaux profondes, il n'y a que de la vase.

Au droit de Buenos-Aires, et à 22 km de la rive, on rencontre

un chenal naturel de 6,40 m de profondeur, où mouillaient les grands navires d'outre-mer, avant l'ouverture du nouveau port (*Pl. 106, fig. 1*).

La ville de Buenos-Aires est limitée au Sud par un cours d'eau de peu d'importance, dont l'embouchure formait un petit port naturel. C'est là, c'est-à-dire au pied de la première haute terre qu'elle rencontra sur la rive occidentale du Rio de la Plata, que l'expédition espagnole, conduite en 1536 par Don Pedro Mendoza, s'arrêta et abrita les petits navires qui l'avaient amenée. De là, le nom de *Riachuelo de los Navios* (Ruisseau des Navires) qu'il porte encore.

Ce petit ruisseau fangeux, dont le débit atteint à peine 2 m³ par seconde, est devenu un centre commercial très important. Depuis un siècle, les principaux entrepôts de l'importation et de l'exportation argentines sont établis sur ses rives.

Jusqu'en 1876, tous les navires venant d'outre-mer qui jetaient l'ancre dans le chenal du Rio de la Plata transbordaient leurs marchandises sur des bateaux plats (*lanchas*), qui les transportaient le long du rivage où elles étaient déchargées sur des charrettes entrant dans l'eau jusqu'à l'essieu, ou les conduisaient dans le Riachuelo, où elles étaient débarquées dans les magasins du commerce. Cette dernière opération n'était pas toujours possible, car, à marée basse, l'embouchure du Riachuelo était généralement à sec. Les « lanchas » devaient attendre, parfois jusqu'à vingt jours, que l'eau fût assez haute pour leur permettre d'entrer. Pour l'embarquement des marchandises d'exportation, on faisait l'opération inverse.

Malgré ces difficultés, le trafic était assez important. Ainsi, en 1869, sur un total de 397 722 t de marchandises exportées, il y en avait 226 118 provenant du Riachuelo.

## Historique du port de Buenos-Aires. Premiers projets.

Entre 1771 et 1874, de nombreux projets de ports furent soumis au Gouvernement argentin. Quelques-uns d'entre eux présentent un certain intérêt.

Le premier en date est celui que l'Ingénieur Rodriguez y Cardoso présenta en 1771. Il comprenait un seul bassin rectangulaire, armé de canons destinés à défendre l'entrée du Riachuelo et le mouillage des petits navires.

Le XVIII<sup>e</sup> siècle s'écoula sans faire avancer la question; en 1796, on construisit un petit quai en maçonnerie de briques, de 35 m de long, pour le service de l'Arsenal, alors établi sur la rive gauche du Riachuelo, à l'endroit où le commerce d'exportation avait construit ses magasins (barracas). Peu après, cette localité prit elle-même le nom de *Barracas* d'où le vocable *barraquero* servant encore aujourd'hui à désigner les personnes qui s'occupent du trafic des produits de l'élevage.

En 1802, l'Ingénieur Cervino entreprit la construction d'un quai en pierre de 720 m de longueur, qui fut détruit par une tempête avant d'être achevé.

Vers 1805, différents autres projets virent le jour, tous conçus avec la préoccupation de placer l'entrée et les bassins du port sous les canons de la forteresse. A cette époque, la question de défense primait toutes les autres.

Pendant les vingt premières années du XIX<sup>e</sup> siècle, les deux invasions anglaises et la guerre de l'indépendance ne laissèrent pas assez de loisirs pour qu'il fût question du port.

En 1822 le nouveau Gouvernement national, fit venir d'Angleterre l'Ingénieur Bévans, célèbre alors, et lui donna mission de préparer un projet. Il en présenta quatre dont aucun ne fut adopté.

Le dictateur Rozas laissa sommeiller la question ; mais aussitôt qu'il fut renversé, en 1852, le Gouvernement mit au concours l'étude d'un port; douze projets furent présentés, et tous furent jugés insuffisants.

De 1853 à 1875, les Ingénieurs Pellegrini, Coghlan, Bateman, Revy, Farnham-Tuson, Bolland et Whittle, Rigoni, etc., proposèrent des solutions très différentes. M. Bateman, Ingénieur anglais, offrait de construire un long bassin parallèle au rivage, à peu près à l'endroit occupé actuellement par le port Madero; ce bassin était relié au Riachuelo par un canal et communiquait avec la grande rade par un chenal artificiel; un autre chenal servait à l'écoulement des eaux du Riachuelo.

M. Revy, ancien collaborateur de M. Bateman, voulait ouvrir trois bassins sur la rive droite du Riachuelo et se servait d'un seul chenal artificiel pour réunir le port projeté et le Riachuelo avec les eaux profondes de l'estuaire.

Nous signalerons, en passant, le projet Rigoni qui, avec son double port circulaire à alvéoles extérieures pour les grands navires et intérieures pour les petits, réalise bien ce qu'on peut concevoir de plus fantaisiste.

## Premières tentatives d'exécution. Canalisation du Riachuelo. — Canal du Sud.

Ce n'est qu'en 1875 que fut envisagée la solution logique et vraiment pratique du problème déjà séculaire du port de Buenos-Aires. Les importants travaux et les écrits de M. Luis, A. Huergo, Ingénieur argentin, y contribuèrent puissamment.

Son objectif était *de faire du Riachuelo la base du port.*

Le Gouvernement et les Chambres le comprirent, et le 18 octobre 1875, une somme de 2 millions et demi de francs fut affectée au creusement d'une entrée et à la canalisation de ce petit cours d'eau. C'était la première partie d'un programme très soigneusement élaboré, qui comprenait l'ouverture d'un chenal d'accès pour aller rejoindre en rade les eaux profondes, l'approfondissement et l'élargissement du Riachuelo, le creusement d'un avant-port et la construction de quais.

Le chenal d'accès au Riachuelo a été tracé de manière à lui faire suivre sur tout son parcours des fonds en pente régulière. Il ne coupe pas de bancs de sable et ne traverse aucune dépression du lit du fleuve.

En ligne droite, sur une longueur de 14 km entre l'embouchure du Riachuelo et les fonds de 4,50 m, il se prolonge ensuite jusqu'en eau profonde par deux courbes de navigation facile de 2000 m de rayon. Ce tracé réduit au minimum les dragages nécessaires à son ouverture et à son entretien *(Pl. 106, fig. 1).*

Au début, ce chenal ne devait être creusé qu'à 2,75 m de profondeur. Les premiers 500 m à ouvrir dans les sables mouvants du rivage étaient consolidés par des jetées solides, fondées assez profondément dans la « tosca », pour permettre l'approfondissement ultérieur du chenal. Les travaux ne devaient être poursuivis que si cette première partie du projet donnait toute satisfaction.

Les travaux commencèrent en novembre 1876. Dès le mois de juillet 1877 les « lanchas » entraient dans le Riachuelo ou en sortaient à toute heure avec, à marée haute, jusqu'à 4,50 m de tirant d'eau. Les dragages furent poursuivis avec activité, et en novembre 1878, le Gouvernement déclara le Riachuelo ouvert aux navires d'outre-mer.

Ce résultat avait été obtenu en deux ans, moyennant une dépense qui n'atteignait pas 2 millions de francs.

Une loi votée en 1881 stipula que les travaux de dragage seraient continués sur une largeur de 100 m jusqu'à 6,40 m de profondeur.

En 1886, c'est-à-dire neuf ans et demi après le commencement des travaux, le cube du dragage s'élevait à 7 919 660 m³; on avait en outre enlevé 446 000 m³, soit à la main, soit à la vapeur. Le chenal avait une profondeur variant entre 5,20 m et 6,70 m, le Riachuelo et son avant-port étaient creusés, partie à 5,80 m et partie à 6,70 m. On avait construit en même temps :

400 m de jetées en pierres sèches;

1 000 m de jetées en bois dur du haut Parana, avec remplissage en pierres;

4 300 m de quais en bois dur, coûtant 562,50 f le mètre courant;

55 600 m² de pavage en pierres;

Les quais étaient dotés d'une installation hydraulique actionnant 12 grues; de 2 hangars en fer, de 3 grues à vapeur, etc.

Cet ensemble de travaux, projetés et dirigés par M. Huergo, avait coûté 16 582 000 f.

## Projet définitif de M. Huergo.

En 1881, le même Ingénieur présenta au Gouvernement un projet définitif pour l'achèvement du port de Buenos-Aires, dont les ouvrages construits à l'entrée et dans le lit du Riachuelo, devaient constituer les premiers éléments *(Pl. 106, fig. 2)*.

Le chenal d'accès, déjà ouvert, devait être approfondi et élargi de manière suffisante pour livrer passage aux navires se rendant dans un avant-port spacieux creusé sur la rive gauche du Riachuelo, entre la ville et le Rio de la Plata. De cet avant-port, qui communiquait directement avec le Riachuelo canalisé, on accédait du côté de la mer, par un canal large de 200 m, dans un certain nombre de bassins tracés, suivant la méthode moderne si rationnelle, obliquement au rivage, et parallèles entre eux. On facilite ainsi notablement l'entrée des navires dans les bassins, et l'accès des voies ferrées sur les quais. Le canal et les autres parties du port étaient protégés par un brise-lames en maçonnerie contre les vagues du large.

Les bassins obliques, indépendants les uns des autres, étaient étudiés de manière à pouvoir être construits au fur et à mesure de l'augmentation du tonnage du port, et présentaient l'avantage

d'être très commodément desservis, sans plaques tournantes ni ponts mobiles, par des voies ferrées, qui les reliaient aux principales lignes de chemin de fer de l'intérieur. Leur superficie variait entre 9 et 14 ha, et la longueur utile de leurs quais était de 1 600 à 2 360 m. Suivant leurs dimensions, leur prix s'élevait de 15 à 20 millions de francs, y compris les entrepôts, les voies de service et tous les appareils destinés à la manutention rapide des marchandises.

Le port de M. Huergo, avec ses bassins obliques et ses quais facilement accessibles aux voies de service, était bien le port de l'avenir, admis par tous les hommes compétents, et basé sur des principes dont, il y a plus de vingt ans, d'éminents ingénieurs ont, ici même, exposé les avantages incontestables.

Ce projet, absolument rationnel, très bien étudié, parfaitement adapté aux besoins locaux, et assurant complètement l'avenir, fut cependant abandonné en 1886. Sans aucune raison valable et contre toute attente, on lui en préféra un autre, élaboré par trois Ingénieurs anglais, MM. Hawshaw, Son et Hayter, qu'un commerçant de Buenos-Aires, M. Madero, venait de présenter au Gouvernement.

La Direction générale des Travaux publics, les Ingénieurs de l'État et une Commission officielle d'Ingénieurs civils spécialement nommée pour examiner ce projet, firent les plus sérieuses objections, et présentèrent des rapports absolument défavorables. Tous ceux qui furent consultés, fonctionnaires ou particuliers, furent unanimes à conseiller le rejet de la proposition Madero.

Le Gouvernement d'alors passa outre et chargea, en décembre 1884, M. Madero et ses conseillers techniques de l'exécution de leur projet. En manière de protestation, cette résolution fut suivie de la démission de M. G. White, alors Directeur du Corps des Ingénieurs de la Nation, et actuellement Directeur général de la Compagnie du chemin de fer du Sud, la plus importante et la plus prospère de la République.

## Projet anglais, dit Port « Madero ».

Ce projet, généralement dénommé *Port Madero (Pl. 106, fig. 3)*, a été creusé en terre ferme, et se compose de quatre longs bassins rectangulaires, compris entre deux avant-ports.

L'avant-port du Sud communique avec la rade en eau pro-

fonde au moyen du chenal ouvert par M. Huergo (chenal du Sud); celui du Nord, dont la forme est celle d'un quadrilatère irrégulier, comporte, en outre, deux bassins de radoub, de 150 et 180 m de longueur; il est relié à la rade par un nouveau chenal, dont le tracé est complètement en ligne droite, dit chenal du Nord.

Les quatre bassins, tracés en enfilade et se commandant les uns les autres, sont séparés des avant-ports par des écluses, et communiquent entre eux par d'étroits goulets de 20 m de largeur.

Un brise-lames, partie en maçonnerie de béton et partie en bois de pitch-pin, devait protéger le port contre les vagues de l'estuaire.

Les avant-ports et les bassins ont les dimensions suivantes :

| | Longueur. | Largeur. | Superficie. |
|---|---|---|---|
| | — | — | — |
| Avant-port du Sud. . | 930 m | 160 m | 112 600 m² |
| Bassin n° 1 . . . . . | 570 | 160 | 91 200 |
| Bassin n° 2 . . . . . | 570 | 160 | 91 200 |
| Bassin n° 3 . . . . . | 690 | 160 | 110 400 |
| Bassin n° 4 . . . . . | 630 | 160 | 100 800 |
| Avant-port du Nord . | — | — | 154 000 |
| | | | 660 200 m² |

La hauteur d'eau est de 6,40 m dans les avant-ports et de 7,20 m dans les bassins.

Les quais ont un développement de 9 790 m, dont une partie seulement est utilisable.

21 magasins servent à l'entrepôt des marchandises, 8 de ces édifices sont construits en fer et tôle ondulée, les autres sont en maçonnerie. Ils ont une capacité brute de 566 000 m³, dont 116 000 m³ de caves et 450 000 au-dessus du sol.

Le chargement et le déchargement des marchandises est fait à l'aide de :

76 grues hydrauliques mobiles de 1 500 kg;
51 — — fixes de 1 500 kg;
2 — — mobiles de 5 000 kg;
1 — — fixe de 10 000 kg;
1 — — fixe de 30 000 kg, et
2 — à vapeur.

Cet outillage est complété par :

36 élévateurs de 1 500 kg;
30 cabestans de 1 000 kg;
14 — de 5 000 kg, et
1 grue flottante de 35 t.

Le matériel à incendie comprend 14 pompes et 700 m de tuyaux.

Deux usines électriques fournissent l'éclairage. La première alimente les 236 foyers du Port Madero, l'autre les 137 du Riachuelo. Ces foyers sont distants l'un de l'autre de 35 m en moyenne.

On a construit 32 km de voies ferrées, pour desservir les quais et les réunir aux chemins de fer de la République.

Le nouveau chenal du Nord, que les Ingénieurs de l'État et toutes les Commissions techniques avaient jugé absolument inutile, et dont ils déclaraient le tracé très défectueux, est ouvert en ligne droite sur tout son parcours, qui atteint 22 km; il coupe plusieurs bancs de sable peu consistant, traverse des bas-fonds, et, par conséquent, ne suit pas les lignes de plus grande pente du lit de l'estuaire, comme celui du Sud, qu'il croise par des fonds de 4,60 m à 9 800 m du rivage *(Pl. 106, fig. 1)*.

D'après le devis annexé au cahier des charges, la dépense prévue pour cet ensemble de travaux ne devait pas atteindre 100 millions de francs; or, nous trouvons, dans le volumineux et très documenté mémoire (1) présenté par M. Huergo au Congrès international des Ingénieurs qui a été tenu à Saint-Louis en octobre dernier, à l'occasion de l'Exposition, qu'ils ont été payés 250 millions de francs, en comprenant les intérêts pendant leur exécution. Le mètre courant de quai, dont les fondations ont été établies sans aucune difficulté, revient à un chiffre fort élevé et peu usité en pareil cas, et ce prix est encore bien inférieur à celui du mètre de quai utilisable, car il comprend 1 400 m de quais situés dans l'avant-port du Nord, où les navires ne peuvent accoster sans danger, et 1 038 m dans l'avant-port du Sud, entièrement en bois. L'ouverture du chenal du Nord, pour lequel le mètre cube de dragage a été payé 3,15 f, soit six fois plus que pour le chenal du Sud et les travaux de canalisation du Riachuelo, reviennent à 39 millions de francs.

(1) *Buenos-Aires Harbour*. Technical history prepared for the International Engineering Congress, Oct. 3d to 8th 1904, Saint-Louis (Missouri), by Luis A. Huergo, C. E.

Enfin, les dépenses exigées pour la conservation des chenaux est considérable.

Pendant les années 1902 et 1903, le total des dragages effectués pour l'entretien de ces deux chenaux et du Riachuelo a été de 10 655 506 m³, dont 8 823 727 ont été extraits du seul chenal du Nord. Malgré cela, et dans le seul but d'augmenter l'importance de ce dernier chenal, on n'a pas poursuivi les dragages du chenal du Sud au delà de son croisement avec celui du Nord. Actuellement, ce dernier est creusé à la profondeur de 6,70 m jusqu'à la ligne d'eau de 6,10 m en basses eaux ordinaires; le chenal du Sud a été limité à son intersection avec celui du Nord, à une profondeur de 5,80 m, contrairement au texte de loi en vigueur et à celui d'un décret du mois de novembre 1900.

La Direction générale des Travaux hydrauliques de la République Argentine a fait constater avec le plus grand soin l'ensablement qui s'est produit dans les chenaux du Sud et du Nord pendant les années 1901, 1902 et 1903. Les constatations ont porté sur une même longueur de 8 200 m pour chacun d'eux. Voici, d'après la publication officielle du Ministère des Travaux publics, les quantités de sable qui se sont déposées.

| | Chenal du sud. | Chenal du nord. |
|---|---|---|
| Année 1901 . . . . . . . . . . | 825 748 m³ | 1 633 255 m³ |
| Année 1902 . . . . . . . . . . | 827 330 | 1 603 255 |
| Année 1903 . . . . . . . . . . | 852 233 | 1 537 546 |
| Moyenne des trois années . . . | 835 104 | 1 591 352 |
| — par mètre de canal. | 102 | 194 |

Soit 90 0/0 de plus pour le chenal du Nord. On aurait dû prévoir ce résultat, car l'ensablement est produit par deux causes principales :

1° Le dépôt du sable que l'eau du Rio de la Plata tient en suspension, et

2° Celui qui est amené par les courants et par l'action des vagues. Dans le premier cas, le dépôt est proportionnel à la surface qui lui est offerte; dans le second, les apports fournis sont d'autant plus importants que les courants et les vagues rencontrent des fonds plus accidentés. A ces deux points de vue, le chenal du Nord est dans de plus mauvaises conditions que l'autre. Il est plus long, et a été creusé dans une partie de l'estuaire beaucoup plus mouvementée.

Cette dernière assertion est confirmée par le fait suivant: des

sondages faits méthodiquement sur une superficie de 15 km², le long du brise-lames qui protège le port contre les vagues, montrent les transformations considérables qui se sont produites pendant ces dernières années dans les fonds traversés par le chenal du Nord. Une dépression, indiquée sur les cartes sous le nom de *Inner-Roads*, qui était recouverte autrefois de 4 m à 4,30 m d'eau, ne l'est plus aujourd'hui que de 2,50 m à 2,75 m.

Voici, en effet, ce qui se passe dans la zone qui a été étudiée:

A marée haute, un courant rapide suit le brise-lames qui limite extérieurement le port, et affouille les dépôts de sable qui existent entre le chenal du Sud et celui du Nord.

Le sable est entraîné et charrié en amont, et va se déposer dans le chenal du Nord, dans tous les bas-fonds et dans la rade en eau profonde.

La fosse qui se creuse le long du brise-lames finira par atteindre la couche dure sur laquelle reposent les fondations de cet ouvrage, dont la situation deviendra précaire.

A marée basse, quand soufflent violemment les vents du Nord-Est ou du Nord-Ouest, l'eau est refoulée, les environs du chenal du Sud restent à sec, et il ne s'y produit pas d'ensablement. Pour le chenal du Nord, la situation est différente, car ses abords sont toujours couverts de 0,65 m à 1,20 m d'eau. Cette eau peu profonde, très agitée par le vent, laboure en quelque sorte le fond sablonneux instable sur lequel elle repose, et l'entraîne dans le chenal. Ces constatations montrent surabondamment que l'ensablement des chenaux dépend surtout du tracé qui leur a été donné.

Si l'entretien du chenal du Sud demande moitié moins de dragages, c'est qu'il suit les lignes de plus grande pente des fonds, et qu'il ne traverse ni bancs de sable, ni dépression du lit de l'estuaire.

## Inconvénients du port Madero.

Les autres inconvénients du port Madero sont nombreux. Les constructions définitives de l'avant-port du Nord et les deux bassins de radoub y annexés, en rendent l'extension impossible de ce côté, ce qui est un défaut capital pour un port dont le tonnage augmente aussi rapidement.

L'avant-port du Nord est très insuffisamment abrité; les vagues y pénètrent librement et les navires ne peuvent ni le

traverser, ni y séjourner sans danger. Il y a de ce fait 1400 mètres de quais où l'on ne peut accoster. Les chantiers à flot, établis près de l'entrée de cet avant-port, sont exposés aux coups de mer et gênent la circulation des navires qui auraient besoin d'espace, pour évoluer dans ce passage dangereux ; enfin, il faut souvent attendre le calme pendant deux ou trois jours avant de pouvoir pénétrer dans les bassins de radoub. Les communications entre les avant-ports et les bassins sont rendues difficiles par les deux écluses et les trois étroits goulets qui les séparent. Les ponts mobiles, construits sur ces écluses et ces goulets, doivent s'ouvrir au passage de chaque navire et se refermer immédiatement pour maintenir le passage des trains qui desservent les quais de l'Est. Ces mauvaises dispositions retardent autant la circulation des wagons que celle des navires, et il n'est pas rare, dans les moments où les expéditions de laine et de céréales sont considérables, de voir de très nombreux navires, complètement paralysés et dans l'impossibilité absolue de pouvoir, pendant plusieurs jours, procéder à aucune opération de trafic. D'autre part, l'encombrement des voies ferrées et d'accès aux quais est tel, dans ces mêmes moments, qu'il est matériellement impossible de faire approcher le long des navires, avant vingt-quatre et quarante-huit heures, les wagons chargés qui leur sont destinés ; ces navires se trouvent, par suite, dans la nécessité de retarder leur départ de plusieurs jours.

En plaçant les buscs des écluses à 6,40 m et 6,70 m au-dessous du niveau de l'eau à marée basse, on a oublié qu'avec l'augmentation rapide du tonnage et du tirant d'eau des navires, beaucoup de ces derniers seraient dans l'impossibilité d'entrer dans les bassins du port de Buenos-Aires.

A ces défauts, qui sont dus à la mauvaise conception du projet, il faut en ajouter d'autres qui proviennent de malfaçons ou d'autres causes. Un brise-lames en bois, dont la construction avait coûté 6 millions de francs, a été complètement détruit par les vagues. Cet ouvrage qui, d'après le cahier des charges, devait être construit en maçonnerie de béton, pour le prix de 14,75 dollars (73,75 f) le mètre cube, fut remplacé par une estacade en pitch-pin. Au cours des travaux, quand la moitié de l'estacade était déjà construite, elle fut presque entièrement détruite par un coup de mer ; on revint alors à la construction en béton, dont le mètre cube fut payé cette fois, 50 0/0 plus cher, soit 22,025 dollars (110,125 f).

## Insuffisance du port Madero.

Les travaux du port Madero furent commencés en 1887 et terminés en 1898. Le chenal du Nord fut creusé de 1891 à 1898. Pendant onze ans (de 1887 à 1898) le canal du Sud a donc suffi au transit de toutes les marchandises importées ou exportées, et aussi au passage de tous les matériaux destinés à la construction du port. Cela constituait un tonnage au moins égal à celui de ces dernières années, qui, comme on va le voir, est fort important.

De 1880 à 1902, en effet, le tonnage (importations et exportations) du port de Buenos-Aires a sextuplé, passant de 504 303 à 3 109 090 t. Cette augmentation s'est produite assez régulièrement, surtout pour les exportations. La crise subie par la République Argentine en 1891, fit baisser le chiffre des importations de près de 450 000 t, tandis que les exportations ne fléchissaient que de 160 000 t.

Le tableau suivant (page 518) donne le poids et la valeur des marchandises importées à Buenos-Aires ou exportées de cette ville, de 1880 à 1902.

En même temps que le tonnage augmentait, le prix moyen de la tonne, importée ou exportée, diminuait. Ainsi, de 1880 à 1885, la tonne importée avait une valeur moyenne de 120 dollars et celle exportée en valait 170. De 1898 à 1902 leurs prix respectifs n'étaient plus que de 60 et 63 dollars.

Cette diminution s'explique en partie par ce fait qu'autrefois les marchandises pondéreuses (charbon de terre, chaux hydrauliques, ciment, bois, etc.), fournissaient 56 0/0 des importations, et que ces mêmes matières entrent aujourd'hui pour 71 0/0 dans les entrées, par suite du développement de l'industrie et des constructions. De 1880 à 1885, on exportait entre 15 000 et 20 000 t de céréales par an, tandis que depuis 1898 on en a expédié de 650 000 à 850 000 t.

A première vue, les dimensions des bassins et la longueur de quais du port Madero paraissent plus que suffisantes pour faire face à un tonnage de 3 millions de tonnes, mais dans la pratique leur capacité réelle est beaucoup plus faible.

Comme nous l'avons dit précédemment, les chenaux d'accès manquent de profondeur; le stationnement, ou même le passage, dans l'avant-port du Nord, est souvent dangereux et par-

## Port de Buenos-Aires.

TONNAGE ET VALEUR DES MARCHANDISES IMPORTÉES ET EXPORTÉES

| ANNÉES | IMPORTATIONS | | EXPORTATIONS | | IMPORTATIONS ET EXPORTATIONS | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | VALEUR en dollars | TONNES | VALEUR en dollars | TONNES | VALEUR en dollars | TONNES |
| 1880 | 35 898 551 | 329 967 | 38 600 538 | 174 336 | 74 599 089 | 504 303 |
| 1881 | 46 696 590 | 368 520 | 40 577 288 | 181 124 | 87 273 878 | 549 644 |
| 1882 | 49 350 389 | 396 959 | 42 134 700 | 282 818 | 91 485 089 | 679 677 |
| 1883 | 66 072 322 | 538 728 | 40 710 386 | 267 896 | 106 782 708 | 806 624 |
| 1884 | 74 870 535 | 639 570 | 45 216 868 | 308 114 | 120 087 403 | 947 684 |
| 1885 | 69 787 044 | 823 963 | 51 996 527 | 409 478 | 121 783 571 | 1 238 441 |
| 1886 | 74 940 276 | 875 619 | 47 193 710 | 534 319 | 122 133 986 | 1 409 938 |
| 1887 | 93 319 121 | 1 160 152 | 53 124 504 | 457 036 | 146 443 625 | 1 617 188 |
| 1888 | 93 998 941 | 936 809 | 66 312 292 | 398 744 | 160 311 233 | 1 335 553 |
| 1889 | 120 369 844 | 1 399 094 | 78 221 632 | 409 275 | 198 591 476 | 1 808 369 |
| 1890 | 103 175 961 | 1 032 591 | 57 742 324 | 686 688 | 160 918 285 | 1 719 279 |
| 1891 | 47 010 594 | 595 407 | 64 429 408 | 518 765 | 111 440 002 | 1 114 172 |
| 1892 | 77 102 423 | 914 690 | 72 630 104 | 685 359 | 149 733 527 | 1 600 049 |
| 1893 | 79 959 867 | 980 490 | 53 246 372 | 727 428 | 133 206 239 | 1 745 029 |
| 1894 | 77 814 696 | 1 155 054 | 53 350 514 | 764 539 | 131 165 210 | 1 879 482 |
| 1895 | 82 048 177 | 1 235 770 | 62 531 492 | 1 191 091 | 144 579 669 | 2 426 861 |
| 1896 | 96 588 107 | 1 399 850 | 63 354 796 | 1 320 447 | 159 942 903 | 2 720 297 |
| 1897 | 84 147 724 | 1 241 125 | 61 487 591 | 934 092 | 145 635 315 | 2 175 217 |
| 1898 | 92 206 491 | 1 518 681 | 70 956 559 | 1 221 994 | 153 163 050 | 2 740 675 |
| 1899 | 101 859 785 | 1 682 734 | 100 752 434 | 1 374 478 | 202 612 219 | 3 057 212 |
| 1900 | 98 831 177 | 1 483 264 | 69 032 578 | 1 258 022 | 167 863 755 | 2 741 286 |
| 1901 | 96 121 082 | 1 638 878 | 82 007 558 | 1 225 840 | 178 128 640 | 2 864 718 |
| 1902 | 89 132 598 | 1 591 460 | 98 463 925 | 1 517 630 | 187 596 523 | 3 109 090 |

fois impossible ; les passages ménagés entre les bassins sont trop étroits, l'espace réservé au stationnement des navires est trop restreint ; une assez grande partie des quais n'est pas utilisable ; l'accès des voies ferrées est très incommode et occasionne des retards dans le déchargement et le chargement des navires ; enfin, si l'on tient compte de l'augmentation continue du tonnage et, par suite, des dimensions des navires, les avant-ports du Sud et du Nord ne leur offriront bientôt plus l'espace indispensable pour y effectuer leurs manœuvres d'entrée et de sortie. Il faudra donc les agrandir. Or, ce qui est relativement facile pour l'avant-port du Sud, où n'existent pas d'ouvrages de caractère permanent, est impossible pour celui du Nord, qui est limité par des murs en pierres et par deux bassins de radoub, etc., etc.

Le fait brutal est que le port Madero ne répond déjà plus aux exigences de la navigation et du commerce.

Cette insuffisance est si évidente que le Gouvernement vient d'acheter à la Province de Buenos-Aires, pour le prix de 55 millions de francs, le port de La Plata. Mais c'est là une solution bâtarde et inefficace. Il faudra bon gré mal gré, et sans beaucoup tarder, se préoccuper de l'amélioration du port Madero et y prêter l'attention que comporte cette question vitale pour la République Argentine.

## Port annexe de La Plata.

Le port de La Plata, capitale de la province de Buenos-Aires, a été creusé en terre ferme comme le port Madero. Il est situé, à 55 km en aval de l'embouchure du Riachuelo, dans la baie ou « ensenada » de Barragan, la meilleure de la côte occidentale du Rio de La Plata. Cette baie a été découverte par les Espagnols qui l'ont utilisée pendant près de deux siècles.

Les navires accèdent dans le port de La Plata par un chenal rectiligne de près de 8 km de long, qui le met en communication avec les eaux profondes. La largeur de ce chenal varie de 50 à 150 m et sa profondeur est de 6,40 m à marée basse.

Le principal bassin de La Plata a 1 325 m de long, 140 m de large et une profondeur minima de 6,40 m.

Le port possède 2 400 m de quais utilisables, desservis et reliés aux chemins de fer de l'Ouest et du Sud, par 37 493 m de voies ferrées.

Le déchargement des marchandises se fait à l'aide de grues hydrauliques qui les transbordent soit sur des wagons ou dans huit dépôts qui couvrent ensemble 17 280 m².

Quoique de construction très récente, le port de La Plata est en très mauvais état de conservation. On ne l'entretient plus depuis plusieurs années; les digues de protection du chenal se sont affaissées et celui-ci se comble peu à peu. On doit redouter qu'une tempête ne produise un éboulement en un point quelconque des digues, et que les sables n'envahissent le chenal en le bouchant complètement. Le Gouvernement devra s'imposer de lourds sacrifices pour le mettre en bon état de service.

Ajoutons que le port de La Plata présente le grave inconvénient d'être envahi par les alluvions qui proviennent des égouts de la capitale, dont les eaux sont déversées dans le Rio de La Plata en un point d'où les courants les amènent à l'entrée du chenal de ce port.

Quand le port de La Plata appartenait à la Province de Buenos-Aires, on pouvait, en y appliquant des tarifs inférieurs à ceux de Buenos-Aires, faire concurrence au port Madero; aujourd'hui, si l'on veut lui rendre la vie qu'il a perdue, il faut le réparer et essayer d'y attirer les navires en leur consentant des conditions avantageuses. Les marchandises doivent être largement rémunérées du transbordement et du transport supplémentaire par chemin de fer qu'elles auront à subir avant de pénétrer dans les entrepôts des commerçants de Buenos-Aires.

## Projet d'agrandissement de M. Corthell.

Quand le Gouvernement se rendit compte de l'insuffisance du port Madero, il chargea M. Elmer L. Corthell, ingénieur américain, d'étudier les réformes et les agrandissements qu'il était possible de réaliser.

M. Corthell, s'inspirant du projet présenté en 1881, par M. Huergo, proposa de construire latéralement et à l'Est du port actuel un certain nombre de petits bassins obliques desservis par un large canal protégé par un brise-lames en maçonnerie construit à environ 300 m de celui du port Madero. (*Pl. 106, fig. 1.*)

Malheureusement, ce nouveau projet laisse subsister tous les inconvénients du port actuel.

Le chenal du Nord, dont l'entretien est si inutilement dispen-

dieux, est non seulement conservé, mais a été choisi comme unique accès aux nouveaux bassins obliques; les bassins et les quais du port Madero, actuellement inutilisables, le seront encore dans l'avenir ; les écluses et les goulets, qui gênent l'entrée et la sortie des navires, sont maintenus et l'accès des quais, déjà si difficile pour les voies ferrées, l'est encore davantage avec le projet de M. Corthell ; ajoutons que le nouveau port, accolé au port Madero qui le sépare de la ville, manque pour ainsi dire totalement de communications avec la terre; enfin les bassins gagneraient à être orientés vers le Sud, au lieu d'être tous tournés vers le Nord, avec l'arrière-pensée évidente de conserver et d'utiliser seul le mauvais chenal correspondant.

D'après les devis de M. Corthell, la réalisation de ses propositions coûterait 238 millions de francs.

Le port de Buenos-Aires, tel que nous l'avons décrit, reviendrait donc à :

| | | |
|---|---|---|
| Construction du port Madero. . . . . . . | Fr. | 250 000 000 |
| Agrandissements projetés par M. Corthell. . . | | 238 000 000 |
| Total. . . . . . . | Fr. | 488 000 000 |

sans faire état de la majoration à prévoir dans les dépenses pendant l'exécution du projet Corthell, ni tenir compte des 55 millions payés pour l'acquisition du port de La Plata.

### Projet transitoire de M. Huergo.

M. Huergo estime qu'il serait déplorable, à tous les points de vue, de renouveler l'erreur de 1884, et qu'il faut éviter au Gouvernement d'entreprendre des travaux de cette importance sans les avoir préalablement bien étudiés et sans s'être entouré de toutes les garanties nécessaires. Il ne faut pas songer, d'ici un certain nombre d'années, à construire de nouveaux bassins, de nouveaux quais. Si le port Madero ne donne pas satisfaction aux besoins de la navigation et du commerce, c'est tout simplement parce qu'il est mal aménagé et qu'une partie de ses bassins est difficilement abordable, ou même inutilisable. L'important, actuellement, est de chercher à améliorer cette situation avant de songer à entreprendre de nouvelles constructions entraînant de grosses dépenses.

Il faut rendre l'accès du port plus facile, y ménager plus d'es-

pace pour le stationnement des navires, supprimer les obstacles qui gênent leur circulation dans les bassins, et enfin modifier l'installation des voies ferrées qui desservent les quais.

On arrivera à ce résultat en supprimant le chenal du Nord et en reportant tous les efforts sur celui du Sud qui doit être approfondi et élargi. L'abandon du chenal du Nord entrainera la fermeture de la communication qui existe entre l'avant-port du Nord et le Rio de la Plata.

Ces premières modifications diminueront de 30 à 40 0/0 les dépenses d'entretien des chenaux et augmenteront de 1 400 m la longueur utilisable des quais. Les navires pourront séjourner sans danger dans un bassin de 154 000 m² dont on n'a pas tiré parti jusqu'ici, et entreront sans difficulté dans les bassins de radoub.

Parmi les autres améliorations à réaliser, voici les plus importantes proposées par M. Huergo :

Suppression de l'écluse qui sépare l'avant-port du Sud du bassin n° 1 ; élargissement à 160 m des trois goulets qui entravent le passage d'un bassin dans l'autre ; remplacement des ponts tournants par des transbordeurs ; approfondissement de l'avant-port du Sud et des quatre bassins, à 8 m et 8,50 m ; élargissement du Riachuelo, etc.

On pourrait laisser subsister l'écluse qui fait communiquer le bassin n° 4 avec l'avant-port du Nord dans le but de faciliter les communications par voie ferrée entre les quais de l'Est et les lignes de chemins de fer ; cette écluse servirait à maintenir dans l'avant-port du Nord, qui n'a que 6,10 m de profondeur à marée basse, assez d'eau pour que les navires puissent entrer à toute heure dans les bassins de radoub ou en sortir. Les bâtiments, entrepôts, etc. ne laissant entre eux et le bord des bassins que la place strictement nécessaire à la voie unique actuelle, les voies ferrées seraient doublées sur toute la longueur des quais, en construisant, latéralement aux murs de ces derniers, des estacades à claire-voie, en bois ou en fer, destinées à supporter la nouvelle voie.

Avec ces différents travaux, on obtiendrait une longueur utile de 14 788 m de quais à double voie ferrée, et assez d'espace pour opérer facilement le chargement et le déchargement d'une quantité de marchandises très supérieure à celle qui existe actuellement.

Il reste à examiner si la suppression du chenal du Nord n'entrainerait pas d'inconvénients ; or, il n'en est rien.

En effet, la nature des principales marchandises importées à Buenos-Aires n'exige pas leur entrée dans les entrepôts de la douane. Le charbon de terre, les bois de charpente, le fer, le ciment, le pétrole, les machines agricoles et autres articles qui forment 75 à 80 0/0 des importations, passent directement de la cale du navire sur les wagons, ou dans les magasins des négociants. Une proportion à peu près égale des marchandises d'exportation est réunie et préparée pour l'expédition dans les usines frigorifiques et autres établissements construits aux abords du Riachuelo, où ils occupent sans interruption une longueur de près de 6 km. C'est dans cet endroit que le commerce a établi le grand marché des produits de l'agriculture et de l'élevage ; c'est là aussi que les industriels argentins ont créé de vastes fabriques de conserves de viande, des meuneries, des verreries, nombre d'autres industries, et de grands entrepôts de fer, de bois, de matériaux de construction, de machines agricoles, des greniers à céréales, etc.

La plus grande partie des échanges entre la République Argentine et les pays d'outre-mer se fait sur les rives du Riachuelo. Le Gouvernement y a construit 4300 m de quais, le Chemin de fer du Sud en possède 1 430, le Syndicat des produits du pays, 800, etc.; le Chemin de fer de l'Ouest y a établi des appontements et de spacieux hangars; enfin, la Compagnie des Docks du Sud y a créé, avec l'appui financier du Chemin de fer du Sud, de vastes constructions desservies par 2000 m de quais.

Comme indication de l'importance des transactions qui se font le long de ce petit cours d'eau, et de la valeur des voies ferrées qui le desservent, il suffit d'indiquer que seule la Banque du Riachuelo possède un capital de plus de 750 millions de francs et que les chemins de fer du Sud et de l'Ouest représentent une valeur qui dépasse 1 milliard.

Par contre, les entrepôts fiscaux que l'entreprise Madero a groupés à dessein autour des bassins n° 3 et n° 4 (5 pour le bassin n° 3 et 4 de trois étages pour le n° 4), c'est-à-dire aussi près que possible de l'avant-port du Nord, sont toujours à peu près vides; ils ne reçoivent qu'une faible partie des marchandises importées, et seulement la farine destinée à l'exportation.

## Le port de Buenos-Aires au Congrès de Saint-Louis.

Cet exposé de la situation montre que la question du port de Buenos-Aires est d'un intérêt primordial pour la République Argentine. Aussi, M. Huergo, afin d'empêcher, si possible, son pays de retomber dans les anciens errements, a-t-il voulu la faire connaître et en faire l'objet d'un débat public devant une réunion composée d'Ingénieurs autorisés et indépendants. C'est dans ce but qu'il a soumis au Congrès des Ingénieurs réunis à Saint-Louis, l'historique du port de Buenos-Aires et qu'il lui a posé finalement la question suivante résumant le débat :

*Convient-il de conserver les deux chenaux d'accès au port de Buenos-Aires, ou de n'en conserver qu'un : celui du Sud ou celui du Nord?*

Parmi les opinions émises au cours de la discussion, celle qu'a formulée par écrit un membre éminent du Congrès, M. Haupt (1), mérite d'être reproduite ici :

« La création d'un port à Buenos Aires, a dit M. Haupt, est un » problème reconnu difficile, qui attire l'attention du monde » entier depuis des siècles, mais dont la solution est devenue » plus urgente qu'autrefois par suite du rapide accroissement » du tirant d'eau des navires.

» La communication et les documents présentés au Congrès » par M. Huergo montrent clairement qu'il y a à considérer » deux propositions distinctes qu'il importe de ne pas confondre : » l'une relative à l'*accessibilité* et l'autre à l'*aménagement* du port.

» La première est d'une importance capitale, car sans un chenal d'accès le trafic d'un port doit se faire à l'aide d'allèges » ou disparaître.

» La principale question soulevée par M. Huergo, et qui mérite » d'attirer l'attention, peut être résolue, avec un peu de bon » sens, par tout économiste, qu'il soit ou non Ingénieur.

» Pourquoi conserver, en circonstances difficiles, deux profonds » chenaux d'accès qui se réunissent en un seul avant d'atteindre » l'eau profonde?

(1) M. Lewis M. Haupt est un Ingénieur de grande réputation aux États-Unis, où il a exécuté d'importants travaux à la mer. Ancien professeur à l'Université de Pensylvanie, il a été le seul Ingénieur civil choisi pour faire partie de la Commission du Canal de Panama, présidée par le contre-amiral Walker. C'est M. Haupt qui dirige actuellement les travaux de canalisation du « Paso de Aranzas », au Texas, pour donner passage aux navires de grand tirant d'eau.

» La raison en est aussi claire qu'elle l'était pour ce pauvre
» d'esprit qui fit deux ouvertures à la porte de sa maison, l'une
» plus grande pour sa chatte et l'autre plus petite pour les petits
» chats.

» Si l'on considère que l'entretien du chenal du Nord est beau-
» coup plus coûteux, il paraît évident qu'on obtiendrait une éco-
» nomie en l'abandonnant et en concentrant toutes les dépenses
» sur l'autre. Mais, indépendamment de toute considération finan-
» cière, locale ou commerciale, il y a une loi physique dont on
» ne paraît pas avoir tenu compte lorsqu'on a étudié le tracé du
» chenal du Nord. C'est que les courants d'eau ne suivent pas
» des lignes droites. On a cependant creusé des chenaux en ligne
» droite et on les a reliés entre eux par des angles vifs, ce qui
» est contre nature.

» Le tracé proposé, en 1876, par M. Huergo est de beaucoup
» le meilleur et en même temps le plus court, grâce aux deux
» courbes de navigation facile qui le conduisent aux fonds de
» 6,40 m.

M. Haupt croit cependant que « tout en conservant les che-
» naux actuels sur presque tout leur parcours, on pourrait obtenir
» un tracé plus favorable et moins long en adoptant une seule
» courbe assez ouverte pour n'offrir aucune difficulté pour la navi-
» gation (14000 m de rayon, par exemple), et qui suivrait à très
» peu près le thalweg de l'estuaire.

» Les données dont il dispose ne lui permettent pas d'évaluer
» exactement ce que coûterait cette modification ; mais les dépenses
» seraient relativement faibles si on les compare à celles que
» nécessite l'entretien des chenaux actuels.

» L'accès du port une fois assuré, il reste à le rendre sûr et
» commode, à le doter des appareils nécessaires pour la manu-
» tention rapide des marchandises et à mettre les bassins dans
» des conditions sanitaires suffisantes.

» Malheureusement, on n'accorde pas toujours une attention
» suffisante à cette dernière obligation, surtout dans les endroits
» où les marées ayant une certaine amplitude, il est nécessaire
» de fermer les bassins à flot; mais à Buenos-Aires, où cet état
» de choses n'existe pas, on devrait laisser circuler l'eau de mer
» avec la plus grande liberté, tout en ménageant aux navires un
» abri et une protection suffisants contre les forts coups de
» mer.

» M. Huergo a admirablement résolu ces desiderata dans les

» plans qu'il a présentés dès 1881, plans qui certainement ont » été appréciés à leur valeur par M. Corthell, puisqu'il s'en est » inspiré et les a appliqués, dans une certaine mesure, en 1902.

» L'obliquité des quais est une conception merveilleuse, car » elle augmente les facilités d'accès pour les navires, encombre » beaucoup moins les passages qu'ils doivent suivre, et réduit la » hauteur et par conséquent le coût de la digue transversale qui » limite le port extérieurement.

» Ce système de quais obliques a été proposé, il y a vingt ans » environ, pour l'amélioration du port de Philadelphie, lorsque » la largeur de la rivière était limitée et que les glaces et les » courants contraires rendaient difficile et dangereux l'accès » des quais normaux.

» Depuis, on a construit avec avantage des quais de ce type » dans la partie terminus du chemin de fer du port de New-» York.

» Les bassins fermés ont en plus l'inconvénient d'isoler les » quais extérieurs et d'empêcher de les relier directement aux » voies de communication intérieures du pays. Avec eux, il faut » des ponts mobiles et des gardiens pour les manœuvrer et les » entretenir, ce qui occasionne une augmentation de dépense et » allonge la longueur de traction et de remorquage. »

## Conclusion. — Commission internationale.

Ce point acquis, M. Huergo demande, et nous partageons absolument sa manière de voir, si le Gouvernement Argentin n'aurait pas intérêt à n'autoriser aucun travail pour le port de Buenos-Aires, sans avoir au préalable demandé l'avis d'une Commission internationale composée des Ingénieurs du monde entier les plus compétents en la matière, des grands constructeurs et des marins les plus renommés.

Dans le même ordre d'idées, il croit qu'il serait préférable de mettre l'exécution des travaux en adjudication, au lieu de traiter directement de gré à gré avec une personne désignée, comme on l'a fait pour le port Madero.

On éviterait de la sorte de commettre encore, à Buenos-Aires, une erreur technique et économique analogue à celle qui a été commise, il y a quelques années, en construisant le port actuel.

EXCURSION ORGANISÉE PAR LA SOCIÉTÉ

DANS LE

# BASSIN DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS
## ET A L'EXPOSITION D'ARRAS

DU 9 AU 12 JUIN 1904

*(Suite)* (1)

---

# EXPOSITION DU NORD DE LA FRANCE
# ARRAS
## (12 juin 1904)
## EXPLOITATION DES MINES, MINIÈRES ET CARRIÈRES

PAR

J. M. BEL

MEMBRE DU COMITÉ DE LA SOCIÉTÉ

ET

P. A. SCHUHLER

SECRÉTAIRE TECHNIQUE DE LA SOCIÉTÉ

---

## INTRODUCTION

Le dimanche, 12 juin 1904, les Membres de la Société, qui ont suivi l'excursion organisée dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, sont arrivés à Arras et ont visité l'Exposition du nord de la France.

Ils y furent reçus par :

MM. Bauvin, Président du Comité exécutif; Lami, Directeur général; Henneton, Ingénieur de l'Exposition;

MM. Léon, Ingénieur en chef; Cuvelette, Ingénieur au corps des Mines;

Et un grand nombre d'exposants, de directeurs et d'Ingénieurs en chef des diverses Compagnies, qui avaient fait le voyage sur notre demande :

M. Saclier, Ingénieur en chef des travaux du fond de la Compagnie des Mines d'Anzin;

(1) Voir Bulletins d'août et septembre 1904.

M. Dereix de Laplane, Ingénieur des travaux du jour de la Compagnie des Mines de Béthune;

MM. Conte, Ingénieur-Directeur des travaux, et Didier, Ingénieur divisionnaire de la Compagnie des Mines de Bruay;

M. Jardel, Ingénieur-Directeur de la Société anonyme des Mines de Carvin;

M. Vidal, Ingénieur de la Société anonyme des Mines de la Clarence;

M. Petitjean, Ingénieur principal de la Compagnie des Mines de houille de Courrières;

M. Prudhomme, Ingénieur en chef de la Société des Mines de Dourges;

M. Masson, Ingénieur-Directeur de la Compagnie des Mines de Drocourt;

MM. A. Descamps, Vice-Président du Conseil d'administration; Coulon, Ingénieur adjoint au service des ateliers; Revel, Ingénieur-adjoint au service de l'électricité; Dinoire, Ingénieur adjoint au service de la fosse n° 9 de la Société des Mines de Lens;

M. Vaissière, Ingénieur principal des travaux du fond de la Société houillère de Liévin;

MM. Engelbach, Ingénieur en chef, directeur des services techniques; Bernadac, Ingénieur attaché au service administratif et commercial; Pintrand, Ingénieur de la Compagnie des Mines de houille de Marles;

M. Roidot, Ingénieur divisionnaire de la Société anonyme des Mines de Meurchin;

MM. E. Sartiaux, Ingénieur en chef des services électriques; Guerber et Plocq, Inspecteurs principaux de la Compagnie du Chemin de fer du Nord;

M. Masson, Ingénieur des Établissements métallurgiques d'Onnaing;

MM. Buchet, Agent général; Père, Ingénieur, chef des travaux du jour de la Compagnie des Mines d'Ostricourt;

MM. Barthélemy, Directeur; Bresson, Ingénieur en chef des travaux du jour de la Compagnie des Mines de Vicoigne et de Nœux.

Tous ont mis la meilleure grâce à nous donner les explications que nous leur avons demandées au cours de notre visite. Les auteurs du présent travail saisissent cette occasion d'exprimer la gratitude de la Société, et leurs plus sincères remerciements personnels, à l'adresse des Ingénieurs et des Exposants qui ont

bien voulu leur communiquer tous les renseignements désirables ayant trait à leur intéressante Exposition.

L'Exposition d'Arras a été ouverte le 1er mai, et close le 16 octobre 1904. Elle a été à la fois artistique, agricole et industrielle; mais elle était particulièrement consacrée aux industries locales : mines, agriculture, éclairage, chauffage, alcool et ses applications, sucrerie, brasserie, etc.

Elle fut installée par les soins de la ville dans le Parc ou Square des Allées, ombragé d'arbres séculaires (*fig. 1*). La municipalité l'avait placée sous le haut patronage de M. Émile Loubet, Président de la République, de S. M. Léopold II, roi des Belges, et des ministres du Commerce et de l'Industrie, des Beaux-Arts, des Travaux Publics, de l'Agriculture, Présidents d'honneur.

A la tête de cette Exposition, il y avait en outre un Comité d'Honneur, composé des anciens ministres, des sénateurs, des députés et des principales notabilités administratives, industrielles et commerciales de la région. L'organisation et l'installation en furent confiées à une Direction générale, sous le contrôle d'un Comité exécutif nommé par le Maire qui en avait la présidence, et subdivisé en Groupes et Commissions, selon le produit de la classification.

On y avait institué un Salon de l'Automobilisme et du Cyclisme, sous la Présidence du Roi des Belges, ainsi que plusieurs Congrès et des Fêtes nombreuses qui, grâce à un beau temps permanent, ont complété le succès mérité de cette manifestation importante du travail, dans un des premiers départements industriels de notre pays.

Enfin ont collaboré aussi à l'organisation de cette Exposition, des Comités régionaux nommés à Lille, Dunkerque, Amiens, Béthune, Boulogne, Calais, ainsi qu'un Comité de patronage à Paris.

Les objets exposés étaient répartis en cinq groupes comprenant vingt-quatre classes et des annexes diverses.

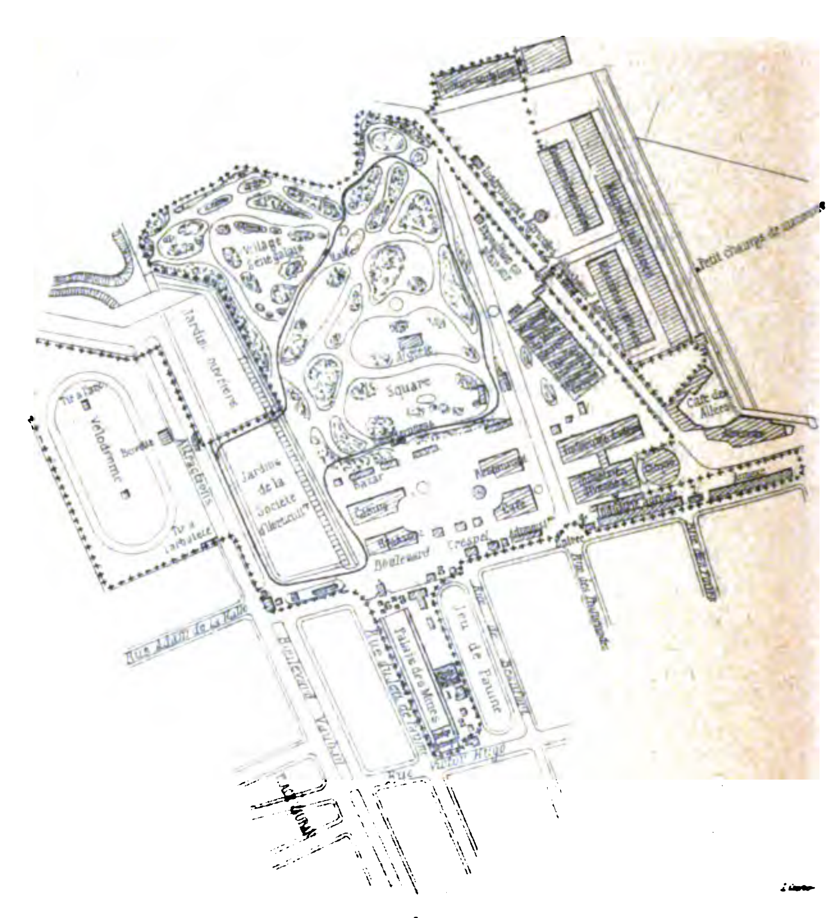
Le présent compte-rendu s'applique seulement à une partie du deuxième groupe, qui était présidé par notre Collègue M. Boudenoot, Sénateur du Pas-de-Calais et Président de la Section des Mines et de la Métallurgie à la Société des Ingénieurs Civils de France.

Ce groupe était affecté aux diverses branches du génie civil : combustibles, minerais, métallurgie, chauffage, éclairage, transmission, industries chimiques, eaux.

**Fig. 1.**

**EXPOSITION DU NORD DE LA FRANCE - ARRAS 1904**

**Plan général**




**LÉGENDE**

1 Maison ouvrière de Courrières
2 Moteurs Duplex
3 Wagon de 40 tonnes
4 Exposition Koppel
5 Wagon Malissard
6 Machine d'extraction électrique de Ligny-les-Aire
7 Bassins d'épuration biologique des Eaux Industrielles
8 Decauville

Notre travail vise spécialement l'EXPLOITATION DES MINES, MINIÈRES ET CARRIÈRES. Il comprend six sections :

I. **Géotechnie;**
II. **Outillage de mineurs et travaux souterrains;**
III. **Transports;**
IV. **Extraction;**
V. **Épuisement, aérage, éclairage, etc.;**
VI. **Préparation mécanique.**

Il est illustré de figures et de planches.

Les auteurs, MM. J.-M. Bel, Membre du Comité de la Société, Ingénieur civil des Mines, et P.-A. Schuhler, Secrétaire technique de la Société, Ingénieur à la Compagnie continentale Edison, se sont réparti la besogne, en traitant spécialement : l'un, des questions relatives à l'industrie minérale; l'autre, des questions d'électricité.

L'Exposition *(fig. 1)* comprenait un certain nombre de grands bâtiments ou palais, dont les surfaces couvertes peuvent être évaluées comme il suit :

| | | |
|---|---|---|
| Palais des Mines | 20 × 100 = | 2 000 m² |
| — de la Métallurgie et de la Mécanique | 25 × 70 = | 1 750 |
| Palais des Industries diverses | 20 × 50 = | 1 000 |
| — des Produits agricoles | 20 × 65 = | 1 300 |
| — du Matériel agricole | | 1 700 |
| — des Beaux-Arts | | 1 250 |
| TOTAL ENVIRON | | 9 000 |

Un grand nombre d'exposants occupaient en outre une superficie assez considérable d'espaces découverts, dans les allées et jardins.

# PREMIÈRE SECTION

## GÉOTECHNIE

## BASSIN HOUILLER DU PAS-DE-CALAIS

---

### CHAPITRE Ier. — Géologie (1).

Les gisements miniers du département se limitent à la houille. Mais ce combustible y constitue le premier bassin français. Aussi a-t-il fait l'objet d'une *Exposition collective des Houillères du Pas-de-Calais*, qui a été des plus intéressantes, et qui avait été établie sous la direction de MM. Léon, Ingénieur en chef, Cuvelette et Leprince-Ringuet, Ingénieurs au corps des Mines, avec la collaboration des Ingénieurs des Compagnies houillères.

Cette exposition comprenait d'abord deux vitrines horizontales, dont la partie supérieure présentait un plan de surface du bassin, avec les voies de communication par rails et par eau. Le plan est divisé en deux parties, celle de l'est et celle de l'ouest, à l'échelle du $\frac{1}{7.500}$. Dans l'intérieur, sont soixante-deux coupes verticales, sur glace, orientées suivant le méridien, espacées à 1 km, et partant de la cote + 50 m, d'altitude moyenne de la

(1) Bibliographie :

Abbé BOULAY. *Recherches de paléontologie végétale sur le terrain houiller du Nord de la France;* 1879.

ZEILLER, *Guide du géologue à l'Exposition universelle de 1878 : Flore fossile du bassin de Valenciennes*, 1888.

De SOUBEYRAN, *Étude sur le bassin houiller du Pas-de-Calais*, 1898.

BOULOGNE-SUR-MER *et la région boulonnaise*, 1899.

J. GOSSELET, *Aperçu général sur la géologie du Boulonnais.*

FÈVRE et CUVELETTE, *Notice géologique et historique sur les bassins houillers du Pas-de-Calais et du Boulonnais*, Arras, 1900.

P. CHARPENTIER, *Carte d'ensemble des exploitations houillères du Nord et du Pas-de-Calais*, Douai, 1902.

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE au $\frac{1}{0.000}$.

*Notices* publiées par les COMPAGNIES MINIÈRES, 1900 et 1904.

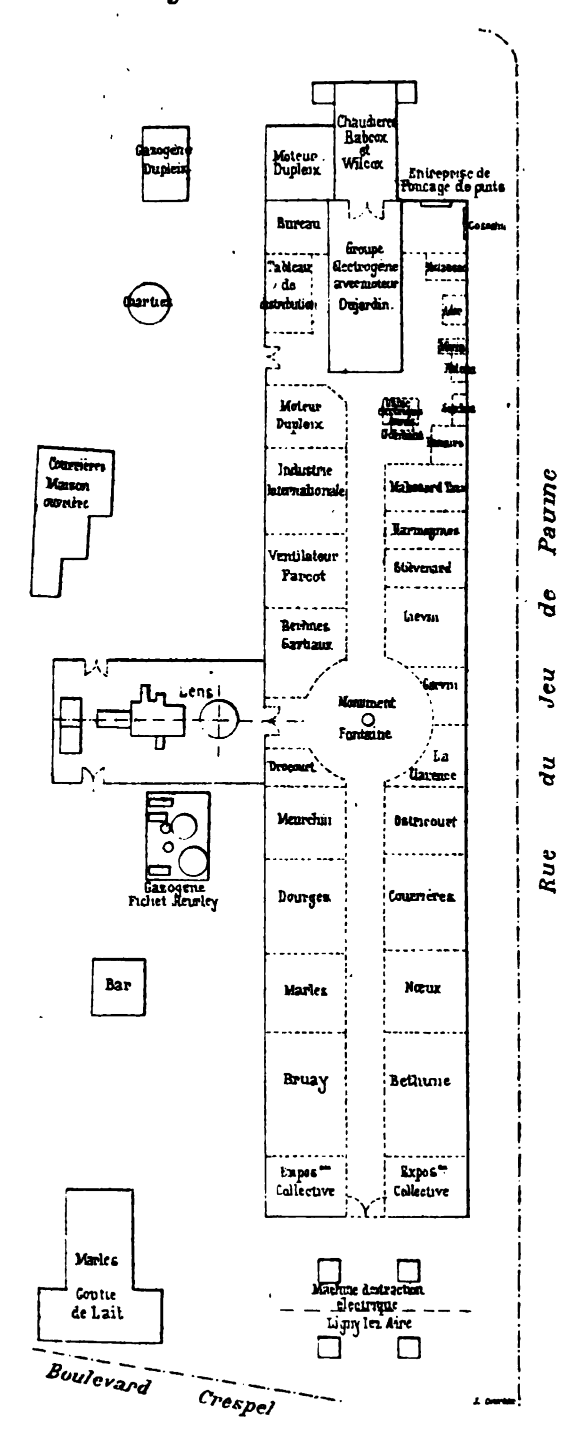
MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, *Statistique minérale de la France.*

COMITÉ CENTRAL DES HOUILLÈRES DE FRANCE, *Recueil des Rapports des Ingénieurs des Mines aux Conseils généraux en 1903.*

COMITÉ CENTRAL DES HOUILLÈRES DE FRANCE, *Annuaire*, 1904.

LA REVUE NOIRE.

## Fig. 2 - PALAIS DES MINES



région, dont le relief, d'ailleurs peu accidenté, n'est pas reproduit.

Ces coupes, limitées aux parties qui sont au moins très approximativement connues par le développement des travaux, présentent les veines caractéristiques de chaque faisceau houiller, jusqu'à leur affleurement à la surface inférieure des morts-terrains ou du tourtia. Elles montrent aussi les principaux accidents qui affectent le système carboniférien, dans la partie de l'étage westphalien où se trouve le bassin. Les puits de mines y sont figurés avec leurs différents niveaux.

L'exposition collective comprenait, en outre, une vitrine verticale, renfermant une collection géologique, pétrographique et paléontologique; roches, fossiles animaux et végétaux des différents terrains du bassin : dévonien, silurien, carboniférien, et morts-terrains; carottes de sondages. Les morts-terrains ont été reconnus par des sondages effectués au midi du bassin, lesquels, poussés à 1 200 et 1 300 m, ont révélé, jusqu'aux dernières limites d'exploitabilité, l'étendue de la richesse houillère du gisement.

Les morts-terrains ont de 100 à 150 m d'épaisseur; ils appartiennent surtout aux assises supracrétacées, surmontées de quelques mètres de tertiaire et de quaternaire. Ils recouvrent uniformément le bassin, ainsi que les terrains plus anciens qui enclavent celui-ci, et parmi lesquels le dévonien perce par places, affleurant au sud, et plongeant légèrement vers le nord. On sait que la partie inférieure des morts-terrains, qui est argileuse et imperméable aux eaux d'infiltration, excepté à Bruay notamment, constitue les dièves, ayant à leur base le tourtia, poudingue verdâtre formé de fragments de terrains anciens.

Le terrain houiller, dans le département du Pas-de-Calais, s'étend au-dessus des morts-terrains sur 55 km de longueur; il est orienté de l'est-sud-est à l'ouest-nord-ouest, avec une légère inflexion de l'est à l'ouest vers sa partie centrale. Il repose, au nord, sur le calcaire carbonifère. Il plonge vers le sud, où, sous l'influence d'une violente poussée, il a été refoulé, redressé et replié sur lui-même, avec chevauchement de terrains charriés plus anciens, le silurien et le dévonien inférieur, dont il est séparé par le grand accident connu sous le nom de faille eifélienne. C'est dans sa partie centrale, où il se présente avec la plus grande largeur, qu'il s'étend vraisemblablement le plus loin vers le sud sous les terrains de charriage ; l'inclinaison de ces derniers n'est

alors que de 7 à 10 degrés, tandis qu'elle atteint 30 à 45 degrés dans les parties extrêmes. L'affleurement du terrain houiller, sous le tourtia, y occupe 12,5 km de largeur; il n'en a que 5,5 à l'est, à sa jonction avec le bassin du nord; il se termine à l'ouest en queue de poisson.

L'Exposition collective présentait, en trois tableaux, des coupes stratigraphiques normales, au $\frac{1}{5000}$, des faisceaux de charbon, avec l'allure moyenne de chacun d'eux, la nature et la composition des veines exploitées, et les intervalles de stérile.

Un premier faisceau est constitué par des *houilles maigres anthraciteuses, quart-grasses et demi-grasses*, connu seulement dans la *région du nord-est*. Ce sont les couches les plus anciennes; elles apparaissent au nord, et s'enfoncent au sud, avec le calcaire carbonifère. Ce gisement s'étend sur les concessions d'Ostricourt, Carvin, Meurchin, Douvrin; il en constitue l'unique ressource. Il existe aussi dans celles de Dourges, Courrières, Lens, Grenay, Nœux. Il présente du charbon de 10 à 16 0/0 de matières volatiles. La formation a une épaisseur totale de 6 à 700 m, et contient environ 3 0/0 de charbon.

Séparé de ce premier faisceau par la faille Reumaux, et le surmontant en partie, il existe, *dans la région du centre*, un second faisceau, plus récent, qui paraît avoir été refoulé vers le nord. C'est celui des *houilles grasses*, qui constitue la grande richesse du Pas-de-Calais, et qui est le gîte le plus important des concessions de Dourges, Courrières, Lens, Grenay, Nœux; il est seul exploité dans celles de Drocourt et de Liévin, situées plus au sud. Le charbon y renferme de 17 à 37 0/0 de matières volatiles. L'épaisseur totale du faisceau est d'un millier de mètres, avec 4 0/0 environ de charbon. Ce faisceau est affecté au sud-est par la faille eifélienne, et il est alors replié. Les veines sont en « plateurs », et régulières, ou renflées dans le pli ou « crochon », ou bien étirées et irrégulières, dans les « renversés ».

Un troisième faisceau, encore plus récent, est mis en présence, dans la *région de l'ouest*, par la faille de Ruitz, sensiblement parallèle à la faille Reumaux, et comprend des *houilles flambantes*. Il fait l'objet des exploitations du sud, de Nœux, Bruay, Marles, Camblain, Cauchy-à-la-Tour et la Clarence. Il comprend des charbons tenant 28 à 44 0/0 de matières volatiles. Son épaisseur reconnue est d'environ 600 m, avec 3 1/2 à 4 0/0 de charbon. En outre, il existe un faisceau de houilles, aussi riches en matières volatiles, ou flambantes, d'âge plus ancien, et qui consti-

tue le gisement des concessions de Ferfay, Auchy-au-Bois et Fléchinelle.

Dans les trois premiers faisceaux, on peut compter, en moyenne, une veine tous les 23 m d'épaisseur de la formation carbonifèrienne.

En dehors de l'Exposition collective, les Compagnies houillères avaient d'ailleurs, chacune dans son stand, exposé des plans et des coupes géologiques intéressant les couches qu'elles exploitent.

La *Compagnie des Mines de Béthune* indiquait la recherche qu'elle avait effectuée par le sondage d'Aix, dit du Surgeon. Ce sondage, commencé le 16 mars 1899, rencontra le dévonien à 69,05 m, le silurien à 629 m, et le houiller à 700 m. Il fut arrêté le 26 juillet 1903 à 1 318,75 m dans des terrains à stratification presque horizontale. A la profondeur de 710 m, fut rencontrée la première couche de charbon avec 1,20 m de puissance.

Sur l'ensemble du terrain houiller, on recoupa vingt couches de charbon ayant ensemble une épaisseur totale de 24,25 m et dix veinules de 2,55 m d'épaisseur totale.

L'inclinaison du terrain houiller fut très variable et donna une alternance de faibles et de fortes pentes.

La *Compagnie des Mines de Bruay* avait donné un plan général, et des coupes au $\frac{1}{10.000}$, du gisement au sud de la faille de Ruitz, passant par les puits n[os] 1 et 5. Nous les avons reproduites dans notre compte rendu spécial sur ces mines (1).

La *Compagnie des Mines de Carvin* produisait une coupe nord-sud au $\frac{1}{1.000}$, à 600 m à l'ouest du puits n° 5, une coupe nord-sud au $\frac{1}{5.000}$ et une coupe nord-sud, à 40 m à l'est du puits n° 2, présentant successivement les terrains suivants :

Argile,
Craie,
Dièves,
Tourtia,
Houille.

La *Société anonyme des Mines de la Clarence* avait exposé un plan et une coupe passant par ses deux puits. Ceux-ci n'atteignent pas les terrains anciens. La concession est recouverte par le calcaire carbonifère et le terrain houiller renversés. A partir de

(1) J.-M. Bel, *Mines de Bruay*, pl. 84, fig. 1 à 5 (*Bull. Soc. Ing. civ.*, sept. 1904).

300 m, la houille présente des couches de charbon nombreuses, mais peu régulières et peu puissantes. Le renversement se maintient jusqu'à 525 m de profondeur. La ligne de pente, qui était est-ouest, change de sens, et l'on entre dans la région des plateurs. Les veines recoupées y seraient alors plus épaisses, et leur régularité plus soutenue.

Dans chaque veine, l'arête du crochon, dirigée nord-sud sensiblement, s'inclinerait vers le sud avec une pente de 25 à 30 0/0. Dans l'ensemble des veines, la normale à cette arête est dirigée sensiblement est-ouest, et s'incline à l'ouest.

On entreprend actuellement le creusement du puits n° 1 jusqu'à 800 m, où l'on espère voir s'augmenter le champ d'action offert par les plateurs.

A la limite sud, les terrains ne sont pas concédés. Un sondage, fait à Ourton, à la distance de 1 664 m du puits n° 1, et à 25 m au sud de la concession, a été arrêté à 1 000 m, dans le terrain houiller inférieur, après avoir traversé les terrains anciens de recouvrement.

La *Compagnie des Mines de Courrières* exposait des coupes est-ouest et nord-sud, au $\frac{1}{1.500}$, du gisement des charbons gras, par les puits n$^{os}$ 10, 2, 6, 9, et présentant :

Craie blanche,
Craie,
Marne imperméable,
Houille.

La *Compagnie des Mines de Dourges* donnait un plan d'ensemble au $\frac{1}{5.000}$, et une coupe générale au $\frac{1}{500}$, présentant :

Terrain dévonien,
Terrains renversés,
Faisceau de charbons flambants,
Houilles grasses maréchales,
Faisceau des charbons à coke,
Faisceau demi-gras,
Faisceau quart-gras,
Faisceau maigre,
Veines de charbon.

L'ensemble des veines de Dourges renferme tous les charbons intermédiaires entre 33 et 17 0/0 de matières volatiles. La plus grande partie de son extraction se fait en trois-quarts-gras, qui donnent d'excellent coke.

La *Compagnie des Mines de Drocourt* avait produit un plan au $\frac{1}{5000}$; — deux coupes nord-sud au $\frac{1}{1000}$, par les puits nos 1 et 2, montrant un gisement très régulier, reconnu à l'étage de 750 m du puits no 1, et à l'aval-pendage de l'étage de 700 m du puits no 2; — une coupe nord-sud, au $\frac{1}{2500}$, avec le sondage de Bois-Bernard, montrant la prolongation du bassin au delà de la limite sud de la concession. Voici les terrains traversés :

Banc de meules,
Crétacé,
Tourtia,
Dévonien et silurien,
Faille des plateurs,
Houille.

La *Société des Mines de Lens* exposait une coupe, par le puits no 12, de son gisement, décrit dans le compte-rendu spécial relatif à ces mines (1), ainsi qu'une autre coupe nord-sud du bassin, au $\frac{1}{50\,000}$, au droit de la concession de Lens, suivant une ligne passant par le sondage de Souchez, les puits de Liévin nos 3 *bis*, 11 de Lens, et 3 de Meurchin.

La *Société houillère de Liévin* présentait une coupe par le puits no 5, au $\frac{1}{500}$, avec une coupe nord-sud, par le puits no 1 et les bowettes sud, au $\frac{1}{1250}$, montrant successivement :

Terrain crétacé,
Dévonien { Gédinien supérieur,
  — inférieur,
Silurien supérieur,
Grande faille du midi,
Terrains renversés,
Houille.

Les terrains se montraient renversés sous l'action de la poussée du midi et le recouvrement du houiller par le silurien et le dévonien. On indiquait la profondeur de 450 à 480 m, comme étant celle à laquelle on espère atteindre le houiller, par le nouveau puits no 6, en fonçage.

Cette Société exposait, en outre, les photographies des fossiles dévoniens et siluriens rencontrés au puits no 5, à la bowette sud de 476 m du puits no 4, et au puits no 6 : *Pteraspis*, *Cyathaspis*, *Homalonotus*, *Grammysia*, *Orthis Verneuili*, *Spirifer mercuri*, *Primitia*

(1) P. Portier, *Mines de Lens* (*Bull. Soc. Ing. civ.*, sept. 1904).

*ionesii*, *Lioptera simonis*, *Rhynchonella deflexa*, *Strophomena rhomboïdalis*, *Atrypa reticularis*, *Dayanaoinela*, *Orthoceras*, *Encrines*, *etc.*

La *Compagnie des Mines de houille de Marles* exposait des coupes par les puits n$^{os}$ 3, 4 et 5, qui ont été reproduites dans le compte-rendu spécial relatif à ces mines (1).

La *Société anonyme des Mines de Meurchin* produisait un plan au $\frac{1}{1.000}$, et trois coupes au $\frac{1}{1.000}$, par le puits n° 4, présentant :

Terre végétale,
Craie,
Meules,
Dièves bleues,
— vertes,
— blanches,
Terrain houiller,
Calcaire carbonifère.

Les veines exploitées renferment de 12 à 14 0/0 de matières volatiles.

La *Compagnie des Mines d'Ostricourt* donnait un plan au $\frac{1}{10.000}$.

La *Société civile de recherches de Souchez* exposait deux coupes, au $\frac{1}{20.000}$, de deux sondages qu'elle a effectués, la série de carottes ainsi produites, et fournissait les échantillons de tous les terrains traversés. En outre, elle présentait un plan indiquant les courbes de niveau du houiller, à 700, 800, 1 000, 1 100 et 1 200 m.

Cette Société fut fondée à Béthune, le 30 novembre 1899, avec la participation de la *Société anonyme des Aciéries de France*, dans l'objet de rechercher tous gisements de mines dans le Pas-de-Calais. Son capital actuel est de 600 000 f.

Le premier sondage, déclaré le 27 juillet 1899, fut placé à 400 m de la limite sud de la concession de Liévin, au lieu dit le Vieux-Château ; le second, déclaré le 22 février 1900, fut placé à Petit-Vimy, à 750 m de la même limite, et à 4 km du premier.

Le sondage de Souchez traversa les terrains suivants :

De la surface à 15,35 m de profondeur, sol végétal et terrain crétacé ;

De 15,35 m à 843,50 m, terrain dévonien sur 827,75 m ;

De là jusqu'à 961,65 m, schistes bleuâtres siluriens sur 118,15 m ;

Puis, jusqu'à 1 009,80 m, terrain houiller sur 48,15 m.

Ce dernier présente plusieurs veinules de charbon, dont une,

(1) E. Suisse, *Mines de Marles*, pl. 82, fig. 2 et 4 (*Bull. Soc. Ing. civ.*, août 1904).

de 0,020 m, constatée officiellement le 20 novembre 1902. Le charbon renfermait 32 0/0 de matières volatiles.

Le second sondage, arrêté le 19 novembre 1902, traversa les terrains suivants :

De la surface à 153,50 m, terrain crétacé et argile;

De là jusqu'à 653 m, terrain dévonien sur 499,50 m;

Puis jusqu'à 783 m, schistes bleuâtres siluriens sur 230 m;

Enfin jusqu'à 1 000,80 m, terrain houiller sur 216,20 m.

Ce dernier présenta sept veines et quelques veinules de charbon, d'une épaisseur totale de 5,81 m. Le charbon renfermait 25,75 à 29 0/0 de matières volatiles.

La *Compagnie des Mines de Vicoigne et de Nœux* produisait des plans et des coupes générales au $\frac{1}{10.000}$. Cette Compagnie dispose de cent huit veines exploitables, avec une puissance utile totale de 86,70 m, soit, en moyenne, de 0,80 m par veine. Parmi celles-ci, depuis 1900, dans le faisceau des houilles demi-grasses, on a reconnu quinze nouvelles veines, d'une puissance utile totale de 12 m.

Enfin, M. *Charpentier*, Ingénieur civil des Mines, avait exposé sa carte d'ensemble des exploitations houillères du Nord et du Pas-de-Calais, parue en 1902, et qui offre un très intéressant résumé de la situation de ces exploitations.

## Chapitre II. — **Produits.**

Les produits marchands des exploitations houillères du bassin comprennent de nombreuses sortes de charbons, des cokes, des agglomérés, des hydrocarbures, des sels ammoniacaux, et même des produits céramiques.

L'Exposition d'Arras, aux stands de la plupart des Compagnies, en présentait de nombreux spécimens.

La *Société anonyme des Mines de Carvin*, ayant recherché un agglomérant plus économique que le brai, avait exposé des agglomérés spéciaux, des briquettes sans brai, ou magnésio-briquettes, de dimensions considérables et des formes les plus variées. L'oxychlorure de magnésium sert d'agglomérant et se décompose lors de la combustion.

Ces briquettes brûlent avec une longue flamme blanche, brillante, très chaude et sans fumée. La combustion se fait seulement à la surface, sur 2 cm d'épaisseur, ce qui explique pour-

quoi la flamme se maintient jusqu'à combustion complète. Le pouvoir calorifique du charbon est augmenté et les gaz produits sont sans action sur les métaux, bien qu'ils renferment nécessairement un peu de chlore.

La Société a élevé, à l'aide de ces matériaux, un petit monument, qui consiste en une voûte et ses piédroits, d'environ 3 m de hauteur, sur 1,40 m d'ouverture ; les piédroits sont faits en agglomérés, ayant la forme de grosses pierres de taille, de 0,60 × 0,50 × 0,40 m, élevées les unes sur les autres ; la voûte est formée d'une seule briquette, qui est demi-cylindrique à l'intrados et à l'extrados, avec 0,40 m d'épaisseur et 0,50 m de largeur. Ces briquettes, du poids de 100 kg (pour les piédroits), ont été simplement battues à bras d'homme dans des moules en planches, à l'aide d'un pilon de 0,10 m × 0,20 m du poids de 3 kg environ. Elles sont fabriquées par le procédé Conti-Lévy, qui est décrit plus loin, au chapitre relatif à la Préparation mécanique.

La *Compagnie des Mines de Dourges* exposait des cokes et des cendres de houille. Ces cokes sont employés pour la fonderie, et fabriqués avec des charbons tenant de 19 à 20 0/0 de matières volatiles.

La *Compagnie des Mines de Drocourt* a exposé des charbons et des cokes ; elle peut, grâce à ses installations nouvelles ou transformées des puits n$^{os}$ 1 et 2, et à l'établissement d'un lavoir, fournir, à l'industrie ou à la consommation domestique, toutes les catégories de combustibles d'usage courant :

1° Charbons gras employés dans l'industrie métallurgique, celle du gaz, la verrerie, la faïencerie, la sucrerie, la distillerie, la brasserie, la malterie ;

2° Charbons trois-quarts gras spéciaux pour forges, employés pour les chaudières et les foyers domestiques ;

3° Charbons lavés, fines lavées, grains de forges, grains pour générateurs, braisettes pour foyers domestiques ;

4° Cokes lavés, pour la métallurgie, les brasseries, malteries ; — et cokes classés de diverses catégories.

La *Société des Mines de Lens* exposait les types suivants, dont la production, en 1903, est donnée entre parenthèses :

1° Houilles grasses, type « Lens » (2 701 054 t) ;

2° Houilles demi-grasses, type « Douvrin » (527 661 t) ;

3° Produits des lavoirs (930 212 t) ;

4° Cokes (466 732 t, provenant de 600 000 t de poussiers) ;

5° Briquettes (84 238 t).

Examinons chacune de ces classes de produits.

I. — Les **Houilles grasses** type « Lens » comprennent trois catégories :

A. *Houilles grasses à gaz*, tenant de 30 à 33 0/0 de matières volatiles, donnant un excellent coke, et, aux essais pratiques, de 30 à 32 m³ de gaz par 100 kg de houille distillée ; ce gaz ayant un pouvoir éclairant de 1 carcel environ pour 105 l de consommation horaire.

B. *Houilles grasses flambantes*, analogues au type Newcastle et Mons ; tenant de 29 à 32 0/0 de matières volatiles, usitées pour foyers domestiques (forte composition 50 0/0) dans la région du Nord, gazogènes, verrerie, porcelainerie, sucrerie, distillerie, produits chimiques, métallurgie, brasserie, filature, tissage, teinturerie (tout-venant, tout-venant industriel, fines 10 mm) ; brûlées aux générateurs pures ou en mélange, convenant à tous les usages qui exigent un combustible actif et susceptible de produire un énergique coup de feu.

C. *Houilles trois quarts-grasses maréchales*, tenant de 23 à 28 0/0 de matières volatiles ; spéciales à la fabrication du coke métallurgique et constituant de bon charbon de générateur, avec un pouvoir calorifique élevé, atteignant de 8800 à 8900 calories, cendres et eau déduites : convenant aux usages où l'on recherche un combustible riche en gaz et en coke.

Ces diverses catégories de houilles grasses et trois-quarts-grasses forment plusieurs sortes de charbons marchands :

1° Les *criblés*, ou charbons complètement débarrassés de leurs menus, par passage sur des grilles à barreaux, espacés de 40, 20, ou 10 mm : servant particulièrement aux foyers domestiques. Les gros *blocs*, enlevés à la main, sont utilisés comme combustible, pour donner, sous un moindre volume, le maximum d'effet utile (fours à porcelaine, battage des céréales) ;

2° Les *menus*, sous le nom de *fines* 40, 20 et 10 mm suivant l'espacement des barreaux qui les ont fournies, sont utilisés bruts, et consommés en majeure partie par les usines de la Société de Lens, qui en fait des produits épurés et des cokes ;

3° Les *tout-venants* industriels avec 20 à 25 0/0 de morceaux supérieurs à 3 cm, formés d'un mélange en diverses proportions de fines, de morceaux et de blocs ; et les *tout-venants domestiques*, avec 30 à 35 0/0 de morceaux supérieurs à 3 cm, et les tout-venants à 50 0/0.

II. — Les **Houilles demi-grasses et quart-grasses**, type « Douvrin », analogue au type Cardiff et Charleroi, tiennent de 12 à 14 0/0 de matières volatiles, ont un pouvoir calorifique très élevé (8 500 à 8 800 calories à la bombe Malher) ; sont spécialement employées pour les générateurs, pures ou en mélange avec le Lens, et donnent, par rayonnement direct, une chauffe locale des plus intenses.

Les moins riches en matières volatiles sont employées à la cuisson des briques, des ciments et de la chaux.

Les charbons de Douvrin forment diverses sortes de produits marchands :

*Criblés* et *fines* 25 mm et 10 mm ;

*Tout-venants industriels*, 20, 25, 30 et 35 0/0 ;

Une grande partie des fines est traitée par les usines de la Société des Mines de Lens ; parmi ces houilles, les moins grasses servent à la fabrication de la chaux, du ciment, des briques, etc. (fines de 25 et 10 mm) ;

*Menus*, de forme spéciale et constante, employés surtout dans la région de Paris, la Somme et l'Oise, constituant un combustible très actif, brûlant sans fumée, chauffant très fort, qu'il est inutile de tisonner, et comprenant des échantillons exposés de la série suivante :

Gailleteries, 8/18 cm ;

Gailleteries, 5/8 cm ;

Têtes de moineaux lavées, 45/60 mm ;

Têtes de moineaux lavées, 30/45 mm ;

Braisettes, 18/30 mm ;

III. — Les **produits lavés**, gras, gras pour forges, demi-gras, etc., sont le résultat du classement, par grosseurs, des fines de Lens et de Douvrin, débarrassées par lavage des pierrettes et des schistes.

C'est par des mélanges appropriés de Douvrin et des diverses sortes de Lens, qu'on obtient une série de combustibles affectés, pour la plupart, aux générateurs, et dont la grande variété permet de répondre à tous les besoins industriels. Ce sont :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Fines lavées* | 0/10 mm | *Douvrin* | à 4 5 0/0 | de cendres | 12 à 14 0/0 matières volatiles. |
| — | 0/10 mm | — | à 7/8 | — | — |
| *Grains lavés* | 10/25 mm | — | à 7/8 | — | — |

— — Douvrin et Lens à 6/7 0/0 de cendres, 20 à 24 0/0 de matières volatiles ;

*Menus* pour chaudières, mi-lavés 0/25 mm Douvrin et Lens, 18/20 0/0 de matières volatiles ;

*Menus* pour chaudières mi-lavés 9/10 0/0 de cendres, 18/20 0/0 de matières volatiles, combustible d'aspect terne et poussiéreux, mais donnant toute satisfaction ;

*Fines lavées* 0/10 mm, *Lens*, à 4/5 0/0 de cendres, 25/28 0/0 de matières volatiles (produit particulièrement pur) ;

*Grains lavés* 10/25 mm Lens à 6/7 0/0 de cendres, 25/28 0/0 de matières volatiles ;

*Grains* 10/18 et 18/25 mm pour la forge (obtenus par traitements à des lavoirs spéciaux, les fines extraites à certaines fosses donnant des houilles « Maréchales »), 6/7 0/0 de cendres, 23/25 0/0 de matières volatiles.

IV. — Les **cokes** sont de deux sortes : l'une, très pure, à 7 0/0 de cendres, obtenue par la carbonisation des poussiers, composés en majeure partie de charbons lavés, est affectée aux *fonderies* et à certains emplois dans les *sucreries*.

L'autre, moins pure, est le *coke métallurgique* à 12/13 0/0 de cendres et 3/4 0/0 d'eau, c'est-à-dire avec un minimum de 82 0/0 de carbone pur; obtenue en carbonisant des poussiers moins purs; elle est employée en majeure partie par les usines à fonte de fer, et aussi par les brasseries, les fours à chaux, à ciment, le séchage des étuves, etc.

Ces deux sortes de coke sont chargées à la pelle à grille, pour éliminer le frasier et les morceaux trop petits ne convenant pas aux usages des cokes dits tout-venants. Ce qui reste sur l'aire des fours, après enlèvement du gros coke, est classé et donne les sortes suivantes :

| | |
|---|---|
| Coke calibré. . . . . | 40/70 mm |
| Grésillon . . . . . . | 20/40 mm |
| — . . . . . . | 10/20 mm |
| Poussier . . . . . . | 0/10 mm |

Les trois premières sont utilisées par les malteries, les fabriques à ciment et à chaux. Le poussier est utilisé aux générateurs, en mélange avec d'autres combustibles, par des foyers soufflés, et dans certaines régions, il entre dans la composition des briques.

V. — Les **briquettes** proviennent de poussiers ramenés à une teneur en cendres convenable par addition de lavés. Ces produits

sont de deux sortes : l'une est le résultat d'un mélange de Lens et de Douvrin, l'autre, du Douvrin pur.

Les premières sont marquées ML, pèsent 9 kg, tiennent 20/22 0/0 de matières volatiles, ont 60/70 0/0 de cohésion et 8 0/0 de cendres (type n° 1) ou 9/9,5 0/0 (type n° 2). Elles sont employées pour les chaudières, les locomobiles, les remorqueurs, les bateaux de pêche, et surtout dans le centre de la France, en particulier par les entrepreneurs de battage.

Les autres sont utilisées par les navires de guerre, les paquebots de la Compagnie du chemin de fer du Nord, qui font la traversée de Calais à Douvres.

La marine de guerre emploie la grosse briquette : tantôt le type « croiseurs » à moins de 5 0/0 de cendres et marqué « MIIL »; tantôt le type « ordinaire » à moins de 5 0/0 de cendres et marqué « MIIIL ».

La Compagnie du Nord se sert, pour ses paquebots, de petites briquettes de 600 g environ, à moins de 5 0/0 de cendres, appelées, à cause de leur forme, « paquets à tabac », par le personnel de fabrication.

La *Compagnie des Mines de Marles* a exposé des produits céramiques fabriqués à l'aide des schistes de son exploitation : ce sont des briquettes de schistes, résistant à la compression à 433 kg au centimètre carré, et dont le procédé de fabrication et les emplois ont déjà été décrits dans le compte rendu de la visite de notre Société (1).

La *Compagnie des Mines de Meurchin* exposait des charbons secs et lavés, des briquettes et des boulets. Les charbons tiennent de 12 à 14 0/0 de matières volatiles et l'on obtient, en général, 20 0/0 de l'extraction brute en produits classés, criblés de 25 à 40 mm, gailletins 20/70 et 40/70, gailleterie 7/18, et têtes de moineaux pour chauffage domestique et d'industrie.

On passe annuellement aux lavoirs 220 000 t.

Les lavés sont employés à l'état de têtes de moineaux 30/50, de braisette 15/30, et de grains pour les poêles à feu continu, et à l'état de grains 8/30, fines 0/30, fines brutes à 40, 25, 15 et 5 mm, pour générateurs.

Les petits grains, les fines lavées 0/8 et de 4 à 8 0/0 de cendres, servent aux générateurs et à la fabrication des briquettes de 10 kg, des gros boulets de 160 g et des petits boulets de 45 g.

(1) E. Suisse, *op. cit.*

Les résidus de lavage sont : mixtes 0/5 à 25 0/0 de cendres et schlamms à 15 0/0.

La *Compagnie des Mines d'Ostricourt* a exposé toutes les compositions anthraciteuses pour foyers domestiques et poêles à feu continu, en têtes de moineaux et braisettes.

Son exploitation donnant des houilles maigres à 10 0/0, et des houilles quart-grasses à 10/12 0/0 de matières volatiles, elle peut, par un mélange avec des gras, livrer des charbons maigres flambants et demi-gras industriels, pour les grilles des générateurs; en tout-venants, fines et graines lavées de 5 à 25 mm.

Les charbons d'Ostricourt sont aussi employés pour la cuisson de la chaux et des briques, en tout-venants et fines; pour les malteries, les brasseries et le séchage des houblons, en gros à la main et en gailleterie.

Les produits classés pour foyers domestiques sont :

Têtes de moineaux 30/50 mm, trous ronds, lavés, concassés et criblés;

Braisettes 25/30 mm, lavées ou concassées;

Gailletins 50/70 mm;

Gailleteries 70/110 mm;

Gros à la main;

Criblés 50 mm, trous ronds;

— 30 mm, — ;

— 10 mm, — ;

Grains 10/30 mm;

Grains 12/25 mm, lavés ou concassés.

Les produits industriels maigres et demi-gras sont :

Tout-venant 25/30 0/0;

Fines 50 mm, trous ronds;

— 30 mm, — ;

— 10 mm, — ;

Grains lavés 5/12 mm et 12/25 qui peuvent être livrés additionnés de gras.

Les produits agglomérés sont :

Du demi-gras, en briquettes de 10 kg, marque MO avec une ancre, de 6 à 9 0/0 de cendres; et boulets ovoïdes de 150 g, pour sucrerie, distillerie, chemins de fer, marine, et même pour foyers domestiques, ne se désagrégeant pas à la longue et ne perdant pas son calorique;

Des maigres, dits « petits boulets hygiéniques du Nord pour foyers domestiques » du poids de 45 g, pour les foyers domestiques ouverts et autres.

La *Compagnie des Mines de Vicoigne et de Nœux* extrait, de sa concession de Vicoigne (Nord), uniquement des houilles maigres anthraciteuses de 6 à 10 0/0 de matières volatiles, employées à la cuisson de la chaux, du ciment, des briques, au chauffage domestique, et à toute industrie demandant une combustion lente et de longue durée. Mais elle produit dans la concession de Nœux la série complète des houilles du bassin du Pas-de-Calais :

*Houilles quart-grasses et demi-grasses*, de 10 à 14 0/0 de matières volatiles, pour les générateurs, les chemins de fer, la navigation et les foyers.

*Houilles grasses à courte flamme*, de 16 à 25 0/0 de matières volatiles, pour la fabrication du coke, les verreries, les forges, la navigation ;

*Houilles grasses ou demi-sèches à longue flamme* (flénus) de 32 à 42 0/0 de matières volatiles, pour les usines à gaz, les fours à réchauffer, les forges, les produits céramiques, les foyers.

Ces diverses qualités peuvent se livrer en :

*Charbons secs*, et sous forme de gros, gailleteries, gailletins ou petites gailleteries, tout-venants de 20 à 45 0/0, fines de 0 à 25 et à 80 mm.

*Charbons lavés* de toute nature, sous forme de petits gailletins, de grains de 8 à 25 mm ou de fines de 0 à 8 et à 25 mm.

Cette Compagnie exposait en outre des :

Briquettes VN, de 9 kg, type « torpilleur » à 3,50 0/0 de cendres;
— — « croiseur » de 4 à 5 0/0 — ;
— — « ordinaire » de 6 à 9 0/0 — ;

Boulets ovoïdes anthraciteux de 50 gr pour le chauffage domestique :

Cokes métallurgiques à 10 0/0 de cendres;
— de fonderie de 8 à 9 0/0 — ;
— de sucrerie de 8 à 10 0/0 — ;
— concassés de 25 à 60 mm et de 15 à 25 mm ;

Poussiers de coke de 12 mm.

Produits de la récupération : goudrons, sulfate d'ammoniaque, benzol à 50 0/0.

## Chapitre III. — **Statistique**.

Au tableau ci-annexé *(Pl. 107)*, que nous avons dressé spécialement, figurent les principales données statistiques et leurs résultantes, permettant de juger de l'importance actuelle des différentes exploitations houillères du bassin.

Ce tableau permet de formuler diverses conclusions importantes, relatives au bassin du Pas-de-Calais, à l'accroissement considérable de richesse et de prospérité industrielle auxquelles il est arrivé, en l'année 1903 :

1° Le capital social total de quatorze exploitations houillères (Marles n'y étant pas compris), était à l'origine ou à l'émission

| | | |
|---|---|---|
| de. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | Fr. | 40 361 834 |
| et le capital obligations restant dû, de . . . . . | | 25 109 500 |
| Soit ensemble . . . . . . . . . | Fr. | 65 471 334 |

ou, en moyenne, par exploitation :

| | | |
|---|---|---|
| capital social originel . . . . . . . . . . . . | Fr. | 2 882 988 |
| capital-obligations dû . . . . . . . . . . . . . | | 1 793 535 |
| Soit ensemble . . . . . . . . . | Fr. | 4 676 523 |

Ainsi la création et le développement de chacune de ces exploitations a exigé, en moyenne, un premier capital espèces total, actions et obligations, voisin de 5 millions de francs.

2° Laissant de côté le capital obligations qui, en dehors des emprunts anciens remboursés et des emprunts nouveaux émis, a peu varié, puisque son produit est en raison du taux usuel et relativement peu variable de l'intérêt de l'argent, le capital-actions, qui a reçu des dividendes de plus en plus élevés, a acquis une plus-value énorme, atteignant, pour les quinze compagnies du tableau ci-contre, une valeur totale de 931 679 637 f, ou par exploitation, en moyenne de 62 111 975 f, c'est-à-dire vingt et une fois la valeur initiale.

Mais l'accroissement des dividendes, ayant provoqué une augmentation parallèle des cours des actions, le revenu actuel moyen général de celles-ci est resté à 3,82 0/0. Ce revenu a atteint la somme totale annuelle de 29 088 195 f de dividendes (Marles et Béthune non compris) ;

3° Les résultats économiques que nous venons de relater sont dus à une superficie totale de concessions houillères (Marles compris), de 56,728 ha, c'est-à-dire le 1/12e environ de celle du département, qui est de 663 432 ha;

4° Le réseau ferré minier, ou particulier, de ces exploitations, a atteint une longueur totale de 422 km, c'est-à-dire égale à une distance qui dépasse celle de Paris à Londres;

5° La production du bassin, en combustibles minéraux, est la plus considérable de tous les bassins français; car elle a atteint 16 560 211 t de houille, presque la moitié de celle de la France entière, qui a été de 35 millions de tonnes, en 1903. Celle du bassin du Nord, qui ne vient qu'en seconde ligne, reste loin en arrière, car elle n'a été que de 5 889 000 t, le tiers de celle du Pas-de-Calais; et celle du bassin de la Loire, qui vient en troisième ligne, n'a été que de 3 352 496 t.

La production du Pas-de-Calais correspond ainsi, en moyenne annuelle, à celle de 1 100 000 t par exploitation, pour les quinze sociétés actuellement exploitantes.

La production totale du Pas-de-Calais avait été de 13 556 533 t, en 1902; elle s'est donc accrue en un an de 3 003 678 t, alors qu'il y a quelques années, de 1890 à 1900, le progrès annuel moyen s'était tenu aux environs de 560 000 t, c'est-à-dire à une raison cinq à six fois moindre.

La nature des combustibles produits par le Pas-de-Calais comporte toutes les variétés, depuis les charbons maigres, jusqu'aux charbons flénus, gras et flambants.

Pour la plus grande partie cette production a été obtenue à l'aide de quatre-vingt-deux puits d'extraction, ayant donné une moyenne de 201 953 t chacun par an, soit bien près de 700 t par puits et par jour, si on admet 300 jours de travail par an. La production annuelle moyenne par puits était, en 1899, de 181 000 t, pour soixante-dix-sept puits en activité, correspondant à celle de 600 t par puits et par jour.

Le nombre total des ouvriers occupés tant au fond qu'au jour a été de 69 470, soit le 1/13 de la population du département. Le nombre des ouvriers du fond a été de 54 121.

Le nombre des ouvriers occupés en 1902 était de 61 584, dont 48 137 au fond ou 78 0/0. Cela fait une augmentation totale, en 1903, de 7 844 ouvriers occupés dont 1 880 au fond.

La production en 1903 correspond en moyenne à 238 t par ouvrier occupé et par an, ou à 793 kg par ouvrier occupé et par

jour de travail, à 365 t par ouvrier du fond et par an, ou 1 017 kg par ouvrier du fond et par jour de travail ;

6° La production de coke a été de 868 884 t pour six exploitations, correspondant à 878 t par four a coke en feu, soit 2,920 t par four et par jour.

La production d'agglomérés a été de 359 515 t pour cinq usines, soit par usine, de 71 903 t, ou de 240 t par jour de travail et par usine.

Des tableaux statistiques nombreux et détaillés ont figuré à cette exposition.

L'*Exposition collective des houillères du Pas-de-Calais* a présenté une série de graphiques et de tableaux statistiques, relatifs à la production minérale, aux prix de vente, aux rendements, aux salaires des ouvriers.

Ces tableaux montrent que depuis la découverte du bassin, en 1847, et la mise en exploitation de la première fosse, en 1850, la production annuelle, qui était de 2 millions de tonnes en 1870, a dépassé 9 millions en 1890, et 16 millions en 1903. Les prix ont éprouvé de grandes variations : le prix moyen de la tonne de houille, sur le carreau de la mine, a été, en 1902, de 14,39 f, le prix moyen de la production française, la même année, ayant été de 14,65 f, alors qu'il était de 11,50 f, au Pas de-Calais, en 1899.

Le rendement journalier par ouvrier de fond, a passé de 400 a 500 kg, des années 1850 à 1870, à celui de 800 à 900, depuis 1890, arrivant à 1 060 kg en 1903, malgré la réduction de la durée du travail journalier. Le salaire journalier, qui était de 2,50 f durant la première de ces périodes, s'est élevé à 4,50 f durant la dernière, bien que le prix du travail payé par tonne ait baissé de 6,50 f à 5,50 f et 5 f ; ces chiffres correspondent sensiblement au prix de la journée, le rendement journalier moyen étant arrivé à 1 000 et même 1 060 kg.

La résultante finale actuelle de l'industrie houillère dans le Pas-de-Calais présente une valeur annuellement créée de 238 301 436 f, pour 79 809 052 f, soit près d'un tiers, dépensés en salaires, en 1902. Ces salaires se répartissent en 65 007 081 f, soit 81 0/0 pour les ouvriers du fond et 14 799 971 f, soit 19 0/0 pour ceux du jour.

L'avenir du bassin ne semble pas avoir encore atteint son apogée ; il est, au contraire, susceptible de grandir davantage par

la mise en valeur de découvertes nouvelles qu'il est légitime d'espérer.

La plupart des Compagnies ont fourni, en outre, dans leur exposition particulière, diverses contributions à la statistique minérale.

La *Compagnie des Mines de houille de Courrières* a présenté des diagrammes du personnel, de la production annuelle par puits, de la surface de chauffe des chaudières à vapeur, du matériel, des accidents mortels par éboulement, dans le but de montrer l'efficacité de ses moyens de soutènement, et enfin des résultats de l'œuvre de la Goutte-de-lait, en 1903.

Cette œuvre, dont s'occupent aussi plusieurs autres Compagnies houillères du Pas-de-Calais, a pour objet d'éviter la mortalité infantile : les mères de famille soumettent, deux fois par mois, à la visite du médecin leurs jeunes enfants qui sont pesés; d'après le diagramme du poids de chacun d'eux, des conseils sont donnés, relatifs à leur alimentation, surtout lorsqu'on se sert de lait stérilisé.

La *Compagnie des Mines de Drocourt* a exposé des graphiques de sa production en charbons bruts et lavés, en coke, goudron, huile légère d'ammoniaque.

La *Société des Mines de Lens* nous a montré de nombreux diagrammes sur l'extraction, le nombre des ouvriers, les salaires, le nombre des maisons, sa caisse de secours, etc.

La *Société des Mines de Liévin* donnait des diagrammes sur l'extraction.

La *Société des Mines de Meurchin*, des diagrammes relatifs à son développement depuis l'origine.

La *Compagnie des Mines d'Ostricourt*, des diagrammes de production et des tableaux relatifs aux ouvriers récompensés, soit par le Gouvernement, soit par la Compagnie, ainsi que des photographies des Sociétés instituées sous son patronage.

## CHAPITRE IV

### Autres gisements et produits minéraux du Pas-de-Calais et du dehors.

En outre de la belle exposition relative au bassin du Pas-de-Calais, on voyait à Arras quelques manifestations d'autres exploitations minérales.

Nous n'avons à parler : ni du bassin du Boulonnais, peu ou point productif, avec ses concessions houillères de Ferques, de Fiennes et d'Hardinghen; ni de la concession de Vendin-lez-Béthune, du bassin du Pas-du-Calais; ni des recherches de la houille dans le Calaisis; ni des gites de fer infracrétacés ou ou wealdiens (étage barrémien) du Boulonnais, qui donnèrent naissance à l'industrie sidérurgique de la région, et produisent encore 2 800 t par an. Aucun de ces gisements n'était d'ailleurs représenté à l'exposition.

Il n'y a pas d'autre gite minier dans le département; mais il s'y trouve de très nombreux gîtes de carrière :

Les pierres à ciment, qui ont fait du Boulonnais le premier centre français de l'industrie du ciment;

Les marbres, calcaires, dolomies et pierres à chaux;

Les grès;

Les phosphates, en nodules, des sables verts et argiles des étages crétaciques aptien et albien, de Lottinghen et d'Orville, près de Pas, dans la haute vallée de l'Authie;

Les sables pour verreries;

Les argiles céramiques pour briques, carreaux, pannes, des étages jurassiques kimméridien et portlandien, et de l'étage crétacique du gault ou albien; les argiles pour poteries et pipes, de Boulogne et de Samer; pour grès cérames, porcelaineries, faïenceries, de Desvres; pour produits réfractaires, infracrétacées ou wealdiennes, de Nesles, près de Samer;

Les tourbières de la vallée de la Scarpe, près d'Arras, de l'Aa, près de Saint-Omer.

On compte ainsi dans le département 112 carrières souterraines, occupant environ 500 ouvriers; 530 à ciel ouvert avec 1 700 ouvriers.

Il y a de plus, dans le bassin du Pas-de-Calais, à Saint-Pol, à Fruges, à et près de Desvres, à Wierre-au-Bois, des sources

minérales ferrugineuses, et à Bellebrune, des sources pétrifiantes.

Nous ne mentionnons ici que pour mémoire ces divers gisements, et nous ne parlerons, dans ce chapitre, que des exploitations de pierres à ciment, de marbres, de calcaires, et de grès, les autres n'ayant pas exposé, ou n'ayant présenté à l'Exposition que des produits relevant de la chimie industrielle.

### Carrières de pierres a ciment.

Les pierres à ciment sont caractérisées par des bandes grises, parallèles à la stratification, et alternant avec des zones plus claires. Elles proviennent : soit des étages jurassiques kimméridien et portlandien, comme il a déjà été dit, soit de formations crétaciques des étages cénomanien, turonien, senonien et particulièrement des craies marneuses à *Holaster subglobosus.*

La *Société anonyme des Ciments français*, qui exposait ses produits bien connus, exploite, à Boulogne, des calcaires argileux de l'étage turonien, dans la carrière de Nesles, près de Neufchâtel, et renfermant divers fossiles : *Terebratula semiglobosa*, *Terebratulina gracilis*, *Rhynchonella Cuvieri*, etc.

L'exploitation porte sur deux massifs appelés respectivement l'Ancienne et la Nouvelle Carrière.

Le premier a 20 m de hauteur. Il est subdivisé en quatre tables, dont les hauteurs moyennes sont 4, 6, 4 et 4,50 m. Le second a 12 m. Ces tables ont été divisées en quatre zones, A, B, C, D, qui renferment les teneurs d'argile suivantes :

| | | A | B | C | D | Moyennes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ancienne Carrière | 1re Table (supérieure) | » | » | 8,45 | 10,60 | 9,52 |
| | 2e — | » | » | 10,78 | » | 10,78 |
| | 3e — | 22,75 | 20,45 | 20,23 | 14,10 | 19,38 |
| | 4e — | 18,00 | 19,00 | 22,25 | 25,10 | 20,84 |
| Nouvelle Carrière . . . . | | 16,20 | 15,70 | 17,50 | 17,15 | 16,64 |

Les plus fortes proportions d'argile se trouvaient à la partie inférieure de l'ancienne carrière. On pourrait avoir ainsi, naturellement, avec ce banc, le dosage moyen, qu'on doit constituer dans la fabrication, et qui est celui de 20,50 à 21. Mais alors, on laisserait inutilisés, les autres parties du gisement, et l'on préfère composer chaque arrivage de calcaire aux usines, par une quantité déterminée de wagons de calcaires pris dans les diffé-

rentes tables, en vue d'obtenir un dosage moyen de 17 à 19 0/0. On arrive ensuite au dosage normal par une addition convenable d'argile, faite à l'usine. Malgré leur pureté, les calcaires renferment quelquefois des rognons de silex et de pyrite, qu'on élimine par délayage.

L'argile provient d'une carrière située dans la falaise de Châtillon, de l'étage kimméridien supérieur ou virgulien du suprajurassique.

L'argile est exploitée sur une hauteur totale moyenne de 15 m; elle renferme une faible proportion de sable, qui est éliminé par délayage.

Voici la composition moyenne de cette argile :

| | |
|---|---|
| Silice | 58,90 |
| Alumine | 17,88 |
| Peroxyde de fer | 5,72 |
| Chaux | 13,00 |
| Magnésie | 1,93 |
| Acide sulfurique | 2,19 |
| Éléments non dosés | 0,38 |

L'usine de Boulogne consomme par an 120 000 m³ de calcaires et 13.000 m³ d'argiles.

### Carrières de marbres.

Les carrières de marbres, calcaires, dolomies et pierres à chaux, sont : les unes dans le suprajurassique; ce sont celles de Brecquerecque; les autres : marbres Caroline, Henriette, Lunel, Notre-Dame, Napoléon (du nom de la Colonne de la Grande Armée, près de Boulogne), appartiennent à l'étage dinantien du calcaire carbonifère du Boulonnais; ce sont celles de Leulinghen, de Landrethun et de Rinxent, près de Marquise, et du Denacre.

MM. *Hénaux frères*, exploitants de marbres et calcaires des carrières de la *Vallée Heureuse*, de *Ferques* et du *Haut-Banc*, près de Rixent, exposaient :

Des marbres décoratifs, en façon dite adoucie, ou poli mat;

Des pierres de taille bouchardées, ciselées, égrésées et polies, pour soubassement;

Un assemblage de moellons d'appareil, de divers types, employés dans les travaux de maçonnerie en pierre de taille,

notamment dans les travaux des ports de la région; des moellons bruts;

Des échantillons de sable calcaire pour mortiers de grosse maçonnerie; de grenaille, pour béton armé et béton ordinaire; de pierre cassée pour ballast, employée par la Compagnie du Chemin de fer du Nord;

Des pierres calcaires pour sucreries et hauts fourneaux.

Ces exploitations produisent, en outre, d'autres formes de marbres dits Boulonnais, et de pierres de la Vallée Heureuse, en carreaux, lambris, etc.

Elles occupent 450 ouvriers et produisent annuellement 150 000 t de matériaux divers.

### Carrières de grès.

Les grès à pavés ont donné lieu, dans le Pas-de-Calais, à des gîtes d'époques diverses:

1° Grès tertiaires, éocènes, du thanétien supérieur, près d'Etaples, en relation avec l'assise des Grès d'Ostricourt;

2° Grès du kimméridien inférieur, dans le suprajurassique, se trouvant notamment à Wirwignes, près de Desvres, et s'étendant à l'ouest de cette ville jusque vers Boulogne;

3° Grès à Cucullées, du sommet du dévonique, étage faménien;

4° Grès d'un étage inférieur du dévonique, le coblentzien.

Trois carrières de grès dévoniques du Pas-de-Calais avaient exposé des échantillons de pavés, de bordures et de macadam : celles d'*Estrée-Cauchy*, près d'Aubigny, exploitée par M. *O. Labroy*; de *Matringhen*, près de Fruges; et du *Mont-Saint-Éloi*, près de Vimy, exploitée par M. *G. Beugnet.*

M. *L. Reignard*, exploitant d'une carrière de Seine-et-Oise, celle du *Bois-des-Roches*, qui s'étend sur les territoires de Saint-Chéron et de Souzy-la-Briche, entre Étampes et Rambouillet, par 160 m d'altitude, avait exposé aussi des échantillons de pavés, de pavés demi-retaillés et de sous-produits, qui sont :

1° Des meulières ou caillasses, servant de matériaux de construction et d'empierrement;

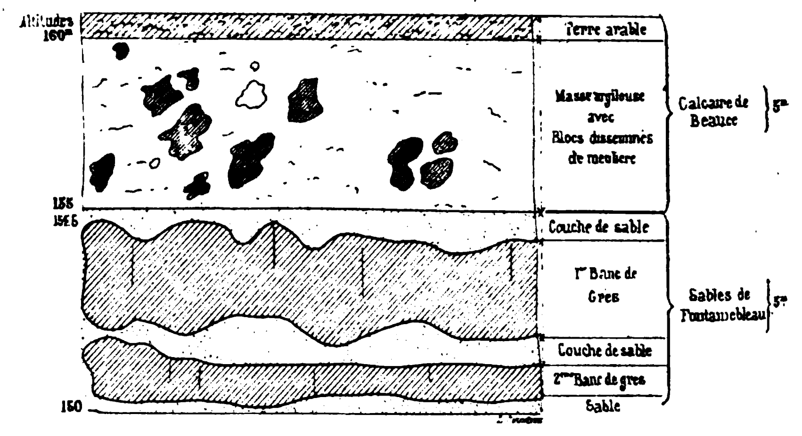
2° Du sable blanc siliceux pour les verreries et les fonderies.

Cette carrière fut ouverte, en 1878, par M. Mulot; elle est exploitée, depuis 1870, par M. L. Reignard. Son front de taille a un développement total de 2 km environ. Sa production annuelle était, en 1894, de 1 100 000 pavés de tous échantillons, ou de

11 560 t, couvrant une surface de 38 460 m²; elle a été, en 1903, de 1 760 000, ou de 18 400 t, par une surface de 58 000 m². Ces produits sont consommés dans les départements de la Seine, Seine-et-Oise, Seine-Inférieure, Somme, Pas-de-Calais et Nord. Elle emploie de 150 à 200 ouvriers, parmi lesquels les carriers travaillent aux pièces, les autres à l'heure.

Le gite de grès, qui y est exploité, est, comme on sait, tertiaire et de l'époque oligocène; il peut être classé dans l'étage stampien et les grès de Fontainebleau, ou plus exactement, dans l'assise des sables d'Ormoy. Au Bois-des-Roches, la formation marine de grès ou de sable, est surmontée de l'assise d'eau douce de l'aquitanien du calcaire de Beauce.

Fig. 3.
COUPE GÉOLOGIQUE DES TERRAINS DU BOIS-DES-ROCHES
(Seine-et-Oise).




Au-dessous de la terre arable, est d'abord un dépôt argileux impur, de 5 à 10 m d'épaisseur, sableux, parfois bariolé, renfermant des blocs de meulière de dimensions variables.

La table, ou banc de grès inférieur, a une épaisseur de 2 à 6 m, avec des parties gris-bleu, à cassure vive, à grain fin et serré. Sa densité est de 2,65.

Séparé du premier banc par une couche de sable, il se trouve souvent, au-dessous, un deuxième banc de grès, de teinte plus foncée.

Ces bancs sont divisés par des joints ou diaclases, dirigés de l'est à l'ouest : ce sont les joints dits « en long », ou grands joints. D'autres, moins étendus, leur sont perpendiculaires. Tous ces joints facilitent l'exploitation de la masse.

Voici une coupe de la formation (*fig. 3*), due à M. Reignard.

Pour terminer ce chapitre, nous mentionnerons diverses Sociétés minières, dont les gîtes sont étrangers au Pas-de-Calais, mais qui avaient exposé leurs produits à Arras.

### Gites de bitume.

La *Société civile des Mines de bitume et d'asphalte du Centre*, avait établi les plates-formes des entrées des palais de l'Exposition d'Arras.

Les gisements de calcaire bitumineux de cette Société sont situés : à Pont-du-Château et Dallet (Puy-de-Dôme); à Seyssel-Forain-Nord (Ain); aux Plaines et à la Chabanne (Basses-Alpes). Ses concessions ont une superficie de 1 800 ha, dans le Puy-de-Dôme, avec une production annuelle de 15 000 t; de 100 ha dans l'Ain; et de 1 000 ha dans les Basses-Alpes; soit au total, 2900 ha.

La Société possède une usine à Pont-du-Château, fabriquant le mastic bitumineux et le pavé d'asphalte comprimé, avec une production annuelle de 100 000 m² d'asphalte comprimé, et de 8 000 t de mastic d'asphalte. La Société a, en outre, une usine de fabrication au Trébillet, près de Saint-Germain-de-Joux, dans l'Ain, et une autre à Marseille, qui est affectée à la fois à l'épuration des bitumes importés, à la fabrication du mastic d'asphalte, et du produit destiné à l'exécution des travaux en asphalte coulé, ainsi qu'au traitement des calcaires bitumineux de ses concessions des Basses-Alpes.

Voici, d'après la Société, la composition de ses minerais des trois provenances susdites :

| | Pont-du-Château. | Seyssel. | La Chabanne. |
|---|---|---|---|
| Bitume | 19,75 | 6,70 | 10,50 |
| Silice | 1,30 | 3,00 | 0,50 |
| Aluminium et peroxyde de fer. | 0,52 | 2,60 | 0,50 |
| Chaux | 31,60 | 45,00 | 49,20 |
| Magnésie | 2,72 | 3,30 | 0,51 |
| Acide sulfurique | » | 0,20 | » |
| Acide phosphorique | » | 0,20 | » |
| Soufre | 0,04 | » | » |
| Acide carbonique, eau et pertes | 44,07 | 39,00 | 38,79 |
| | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

GITES MÉTALLIFÈRES.

La *Compagnie des Minerais de fer magnétique de Mokta-el-Hadid* exposait des minerais de fer.

La *Société anonyme des Aciéries de France* exposait des minerais et produits de ses mines de l'Aveyron : les houillères d'Aubin et les Mines de Villefranche de Rouergue, qui produisent de la galène argentifère, de la blende et des pyrites. Elle exposait aussi un plan-relief de la vallée d'Aubin, le Gna et Cransac.

Cette Société traite, en outre, des minerais de fer purs, de provenance étrangère, pour la fabrication de fontes hématites spéciales de première qualité et de rails de qualité supérieure.

Les minerais traités à son usine d'Isbergues sont :

1° Minerais jaune et rouge (*rubio et campanil*) de Bilbao (Espagne), ces derniers devenant rares;

2° Oligistes de l'île d'Elbe;

3° Minerais manganésifères, *campanils* de Carthagène, et d'Agua-Amarga (Espagne méridionale);

4° Minerais de Grèce, etc.;

5° Minerais pauvres du Boulonnais, traités en faible quantité.

Les hauts fourneaux d'Isbergues emploient, comme fondants, une castine très pure, provenant des carrières de la Vallée Heureuse, et, comme combustibles, ceux du Nord et du Pas-de-Calais, ainsi que des charbons anglais.

La *Société des Mines de Malfidano* exposait des minerais de plomb et de zinc, et un plan de son exploitation en Sardaigne.

La *Société Nouvelle des Établissements de l'Horme et de la Buire*, des minerais de fer de ses mines de Veyras, près de Privas (Ardèche), qui alimente ses hauts fourneaux du Pouzin.

GITES SALIFÈRES, ETC.

Le *Syndicat des Mines et Usines de sels potassiques de Stassfurt* exposait une série d'échantillons de sels de potasse.

On sait que leur gîte se trouve au-dessus de l'épais gisement de sel gemme de l'Allemagne centrale, au-dessous du gypse et d'un autre dépôt de sel gemme plus récent, à la base de l'étage des marnes irisées, ou keuper du trias supérieur.

Ces gites renferment une trentaine d'espèces minérales, parmi lesquelles les plus importantes, au point de vue agricole, qui intéresse surtout le Pas-de-Calais, sont : la kaïnite ($K^2SO^4.MgSO^4Cl^2 + 6H^2O$), la carnallite ($KClMgCl^2.6H^2O$), la sylvinite et le *hartsalz*, qui est un mélange naturel de kieserite ($MgSO^4.H^2O$), de chlorure de potassium et de sel gemme. Ces espèces forment des dépôts irrégulièrement distribués. Leur richesse en potasse varie de 12,5 à 18 0/0.

Les autres espèces minérales exposées sont principalement :

L'astrakaïnite ($Na^2SO^4.MgSO^4.4H^2O$);
La stassfurtite ($2Mg^3B^8O^{15}.MgCl^2$);
La tachydrite;
La bischoffite;
La langbeinite ($K^2SO^4.MgSO^4.MgCl^2 + 6H^2O$);
La schönite ($K^2SO^4.MgSO^4.6H^2O$).

La carnallite forme, à la partie supérieure du gisement, des couches ayant jusqu'à 40 et 50 m de puissance. Elle est mélangée à d'autres minéraux, et renferme, à l'état brut, 9 0/0 de potasse; elle sert, comme on le sait, à la fabrication du chlorure de potassium.

L'*Union des Phosphates de Rhiras et de Tocqueville* exposait des minerais de phosphate de chaux.

---

### Deuxième Section :

### OUTILLAGE DE MINEURS ET TRAVAUX SOUTERRAINS

---

## Chapitre V. — Sondage.

### Forage de puits artésiens.

On sait que c'est dans l'Artois, à Lillers, que, vers le XII^e^ ou le XIII^e^ siècle, fut exécuté le premier forage, appliqué à la recherche d'eau potable : d'où le nom de puits *artésien* donné à ce genre de travaux.

Il n'y avait à l'Exposition d'Arras que deux exposants de matériel de puits artésien :

M. *Ch. Chartiez* avait une installation de captation et de distribution d'eau, sur un forage effectué à environ 20 m de profondeur, fournissant l'eau nécessaire au refroidissement des cylindres des moteurs Duplex du Palais des Mines; cette pompe, débitant 60 hl à l'heure, était actionnée par un moteur électrique (tours, 1 420, ampères, 19,2, volts, 250, puissance, 5,3 ch), construit par la *Compagnie générale électrique de Creil.*

M. Chartiez exposait, en outre, des tubes en tôle d'acier, rivés et manchonnés, ainsi que d'autres articles de matériel et accessoires divers de forages à petite profondeur, pour pompes à bras, et de château d'eau.

M. Chartiez a effectué, de 1897 à 1903, 763 forages, d'une longueur totale de 19 618 m.

M. *G. Millon* avait un tableau d'outillage de forage de puits, pour des diamètres de 0,040 m à 0,200 m, composé de : clous tournants de 1 m, amorcés ou à agrafe; agrafe en fer forgé; tourne-à-gauche de 0,40 m, 0,60 m, 0,80 m et 1 m de hauteur; raccords en deux pièces, n° 2, n° 4, et boite d'emmanchement, en fer de Suède; barres de sonde de 4 m de longueur et de 2 m; cuiller à gobelet de 1 m; tarière rubanée; cuillers de 0,80 m et 0,60 m de hauteur; alésoir à trois branches; ciseaux à aile ordinaire, amorcés, et à quatre ailes; louche à bois; tarel à bois de 40 mm, amorcé, etc.

PROCÉDÉ DU SONDAGE AU TRÉPAN ET AU DIAMANT.

La *Société civile de recherches de Souchez* exposait les résultats de ses deux sondages décrits, dans le chapitre premier ci-dessus, au point de vue géotechnique. Voici les particularités technologiques survenues au cours de leur exécution.

Le sondage de Souchez fut commencé par le procédé ordinaire *au trépan à chute libre*, avec *guidage continu*, par MM. *de Hulster frères*, le 7 octobre 1899, au diamètre de 0,66 m ; ce diamètre, à 500 m de profondeur, était encore de 0,40 m.

Un accident survint le 29 novembre 1900, probablement au passage d'une faille de la base du dévonien, et le trou demeura obstrué par le trépan. On fut conduit à employer la dynamite ; du 4 mars au 28 juin, sept expériences furent tentées, en augmentant progressivement les charges d'explosif, depuis 1,600 kg jusqu'à 6,700 kg ; la sonde fut cassée et retirée, mais la lame du trépan, projetée sur le côté, resta dans le trou.

Le 26 avril 1901, après neuf mois d'arrêt, on put reprendre le forage, au diamètre de 0,26 m. Il se poursuivit alors jusqu'à 961 m, avec un diamètre réduit à 0,165 m, et l'on atteignit le terrain houiller.

A 1 009,80 m, un deuxième trépan se coinça au fond ; il fut impossible de le reprendre, malgré l'emploi de la dynamite, et l'on arrêta définitivement le sondage.

Déduction faite du temps pris par les accidents, il avait fallu 840 jours pour l'exécuter, ce qui donne un avancement journalier moyen de 1,20 m.

Le sondage de Petit-Vimy fut fait par la *Société allemande de forage de Nordhausen*.

Jusqu'à 801,50 m, on employa le *procédé Fauvel*, dans lequel on fait le battage de la sonde comme dans le procédé ordinaire, mais où l'on effectue le *curage par injection d'eau sous pression*.

A partir de 801,50 m, dans le terrain houiller, on appliqua le *forage au diamant*. Dans les parties dures et peu homogènes, les pertes de diamants furent élevées. Dans les terrains tendres, les éboulements furent fréquents, et donnèrent lieu au calage des tubes carottiers, souvent dangereux pour la conservation de l'ouvrage. On obvia à cet inconvénient par de fréquents tubages, mais chaque fois avec réduction du diamètre du trou.

Le 24 juin 1901, à la profondeur de 549,50 m, le diamètre

était de 0,241 m; mais des éboulements survinrent qui amenèrent le tubage à 0,165 m. La rupture d'un tuyau produisit un arrêt de cinq mois, durant lesquels on usa l'outil par une sorte de fraisage, à l'aide d'une couronne d'acier trempé; le travail put être repris en décembre 1901.

Commencé, le 10 mai 1900, au diamètre de 0,40 m, il fut arrêté, le 19 novembre 1902, à la profondeur de 1 000,80 m, au diamètre de 0,045 m seulement.

Déduction faite du temps pris par les accidents, il avait fallu 630 journées pour exécuter le sondage, ce qui donne un avancement journalier moyen de 1,58 m, supérieur au précédent de 0,30 m.

La *Compagnie des Mines de Meurchin* exposait un appareil de *sondage au diamant*, expérimenté par cette Société, la *sondeuse Sullivan*.

Deux de ces appareils ont effectué, depuis trois ans, trente-neuf sondages, d'une longueur totale de 1 985 m, et dont la profondeur a varié entre 40 et 120 m, suivant toutes inclinaisons, depuis la verticale jusqu'à l'horizontale. Ils ont permis de repérer le calcaire carbonifère, qu'on n'avait jamais osé reconnaître avec des bowettes.

On a pu prendre des précautions contre l'entrée brusque dans le calcaire carbonifère, fissuré et aquifère, susceptible de donner des coups d'eau dangereux.

Ces sondeuses sont utilisées d'une façon courante, dans les travaux du fond, pour les recherches.

Ladite Compagnie présentait les carottes de deux sondages, dits n° 3 et n° 4. Le n° 3 a été exécuté horizontalement dans la bowette n° 1, au niveau 272; le n° 4 a été vertical.

Voici les résultats auxquels ils ont donné lieu :

| | N° 3 | N° 4 |
|---|---|---|
| Longueur . . . . . . . . . . . . . . . . . m | 92,10 | 122,65 |
| Avancement par poste de 8 heures, à 2 hommes. | 3,68 | 3,61 |
| Prix de revient au mètre : | | |
| Main-d'œuvre . . . . . . . . . . . . . . f | 5,39 | 6,33 |
| Fournitures . . . . . . . . . . . . . . . | 0,63 | 0,71 |
| Diamants . . . . . . . . . . . . . . . . | 14.03 | 1,87 |
| Totaux . . . . . . . . . . . . . . . f | 20,05 | 8,91 |

## Chapitre VI. — **Abatage.**

### Outils de mineurs.

La plupart des *Compagnies houillères* avaient fait, du menu outillage de mineurs, des panoplies servant de sujets décoratifs à leur exposition.

La *Société des Forges de Milourd* exposait :

1° Des *aciers fondus double fusion* et des *aciers fondus première qualité* ;

2° Des *aciers fondus qualité ordinaire* pour masses, marteaux, massettes, barres à mines, etc. ;

3° Des *aciers corroyés*, de un à quatre corroyages, pour barres à mines ;

4° Des *outils de mineurs :*

Marteaux à deux pointes, à veine et à pierres ; avret ; grand havriau ; petit havriau ; pic à pierres ; petit pic à une pointe ; hache ; rivelaines ; jeu de coins ; grosse masse et petite-masse carrées ; petite batte ;

5° Des *outils de carriers*, en acier fondu : barres à mines, coins, masse à débiter, masse rectangulaire à arêtes vives, mortaiseuse, refenderesse, pioche, épinchette, massette sculpteur, massette à une et à deux têtes, ciseau, pointe, gradine, pinces à talon bout rond et bout à taillant.

### Abatage par les explosifs et tir électrique.

La *Compagnie des Mines de Drocourt* présentait deux exploseurs :

1° Un *appareil magnéto-électrique Siemens et Halske*, mis en service depuis 1902 ;

2° Une *pile sèche Meyer-Shanvrock*, à six éléments Hellesen, qui était à l'essai.

Tous deux avaient donné de bons résultats, la pile sèche avec l'avantage d'être moins encombrante.

Depuis le 25 octobre 1903, le tir électrique a été généralisé dans tous les chantiers de la Compagnie.

M. *Ch. Gomant*, de la *Pyrotechnie d'Héry* (Yonne), fabrique des exploseurs-dynamo, à détente automatique, et des exploseurs à haute tension statique.

Il exposait : des amorces électriques de quantité, à fil de platine, des amorces de tension à étincelles, des détonateurs pour mines, et un allume-mèche métallique de sûreté, n'enflammant pas le grisou.

Il présentait, en outre, les résultats d'épreuves comparatives de puissance de détonateurs au fulminate pur et composé.

La *Société française des poudres de sûreté* exposait un grand nombre de types de cartouches, employées dans les exploitations minérales, variant en diamètre de 0,025 m à 0,060 m, et en poids de 50 g à 3 kg.

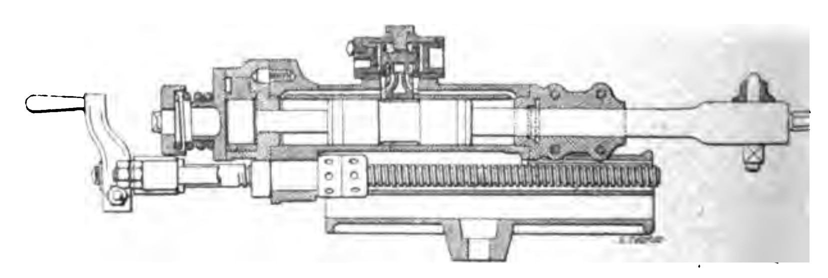
Un diagramme indiquait la progression de la consommation des explosifs Favier, depuis cinq ans; pour la France seule, la consommation est arrivée à 1 000 t par an.

### Perforation et havage mécaniques.

La *Société anonyme des Ateliers Burton* exposait des *perforatrices à percussion*, système Burton *(fig. 4)*, pouvant être actionnées à la vapeur ou à l'air comprimé :

1° *Perforatrices Éclipse*, n° 4 et n° 6, à avancement à main, ou

Fig. 4. — PERFORATRICE BURTON.



automatique, avec emmanchement de fleurets divers, en acier fondu Bury première qualité.

2° *Affût-chariot à bascule* à deux ou quatre perforatrices, roulant sur voie ferrée, pour travaux en galerie; il peut être construit aussi pour prendre appui contre les parois latérales de la galerie, au moyen de colonnes horizontales portant les perforatrices; il peut également être établi avec six perforatrices;

3° *Affût-colonne*, formé d'un tube en acier creux, tourné extérieurement, portant une ou deux perforatrices au moyen d'un

ou deux colliers-cuvettes, et se prêtant au serrage contre les parois de la galerie, horizontalement ou verticalement;

4° *Affût-trépied* employé dans la perforation verticale ou inclinée.

La *Compagnie des Mines de Drocourt* a présenté une *perforatrice Burton n° 6*, d'un nouveau type, actuellement en essai.

Les organes produisant la rotation du fleuret ont été modifiés pour amortir le choc du rochet sur les dents. Les glissières du chariot sont maintenues aux baguettes, pour permettre le rattrapage du jeu, et éviter que la vis d'avancement ne se désaxe.

La *Société anonyme des Mines de Carvin* exposait une *haveuse* spéciale, avec son affût, pour veines minces et inclinées, du poids de 100 kg, pouvant se fixer sur une hauteur de 0,50 m et dont l'appareil percutant est une perforatrice Sullivan.

La Société a adopté ce type de haveuse, à la suite d'essais exécutés avec la haveuse Eisenbeis, faite pour des veines de diverses ouvertures, mais lourde et longue à mettre en place, son transport dans la veine exigeant une heure un quart.

La Société de Carvin a d'abord essayé une perforatrice du type Sullivan UA, le plus petit de la série. Mais, à l'essai, la pression d'air n'était que de 2,500 kg au chantier; et comme elle doit être de 3 kilogr., pour une bonne marche, on a été conduit à adopter le type suivant, US, très puissant, sous un très faible volume. On a disposé son mode de fixation en forme de tronc de cône, pour pouvoir la placer sur l'affût de la haveuse.

L'outil proprement dit est, comme d'habitude, à cinq dents, en acier extra-dur, taillées sur un bloc, lequel est terminé par une partie cylindrique tournée, et s'adaptant au fleuret par la pression d'une vis. C'est sur l'affût, rendu très léger et très résistant, que porte la modification de Carvin.

Cet affût est formé *(fig. 5)* de quatre tubes d'acier, assemblés en cadre. Sur le plus gros de ces tubes, horizontal et inférieur, se trouve le porte-perforatrice, en acier coulé, destiné à emboîter le support de la perforatrice et à lui servir de crapaudine.

Deux tubes forment montants ou colonnes, terminés en pointe à leur extrémité inférieure, et munis de vis de calage, à l'extrémité supérieure. Le tube horizontal supérieur sert d'entretoise.

Le poids de la perforatrice est de 60 kg.

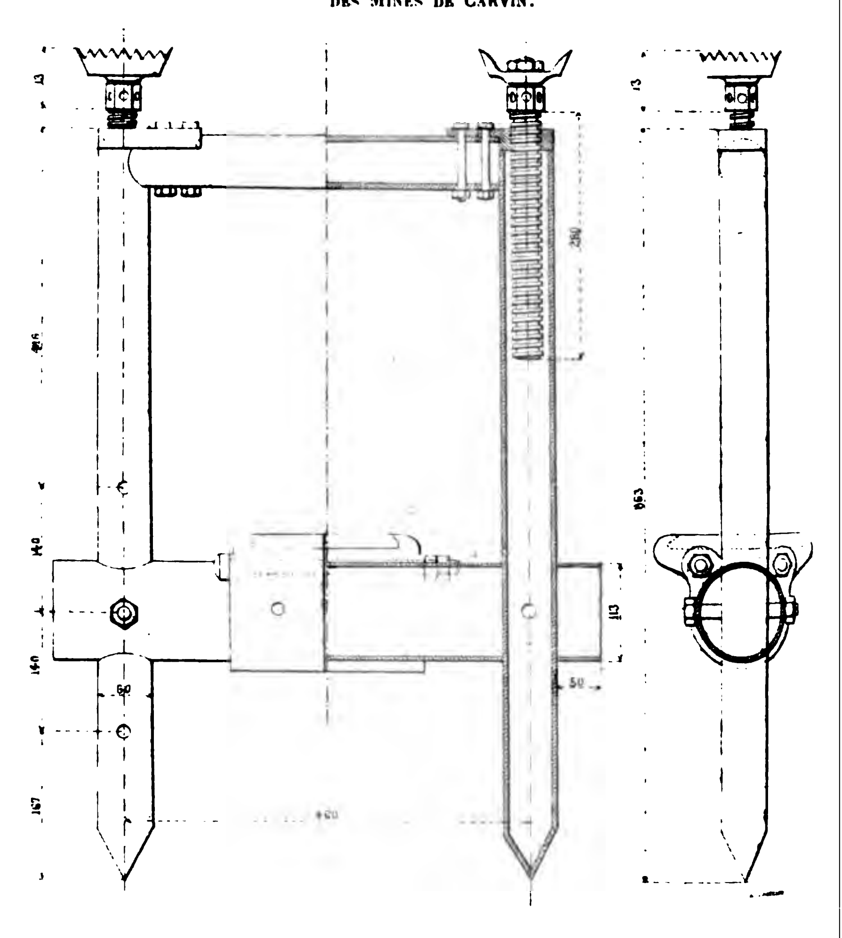
Le poids de l'affût est de 40 kg pour une ouverture de veine de 0,90 à 1,20 m.

Le poids de l'affût n'est que de 30 kg pour une ouverture de veine de 0,60 m.

L'appareil se place à 1 m du front de taille, et le havage a les dimensions suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Épaisseur . . . . . . . m | 0,08 | |
| Largeur . . . . . . . . . | 2,25 | surface 2,70 m² |
| Profondeur . . . . . . . | 1,20 | |

Fig. 5. — AFFUT DE HAVEUSE MÉCANIQUE
DES MINES DE CARVIN.




Au point de vue pratique, la machine est facile à conduire, et, au cours de quatre mois d'essai, en 1903-1904, on a obtenu les résultats moyens suivants :

Temps de déplacement et de pose : 29 minutes;
Temps de havage : 62 minutes pour 3 $m^3$.

A la fin des expériences, grâce à l'expérience acquise, on arrivait à 20 minutes en moyenne, pour le temps de déplacement, et quelquefois à 12 ou 15 minutes.

On peut ainsi exploiter des veines minces très dures, dont le prix de revient serait sans cela très élevé.

La *Société des Mines de Dourges* exposait une *perforatrice rotative*, à avancement différentiel, destinée à travailler au rocher, dans les schistes houillers de dureté moyenne. L'expérience a montré qu'on pouvait traverser des clayats de faible épaisseur, avec une conduite méthodique, sans échauffement exagéré de l'outil et sans émoussage. Cet appareil porte son moteur et peut être placé sur les mêmes affûts que les perforatrices à percussion, ce qui permet d'employer alternativement les unes ou les autres, suivant l'allure de dureté de l'avancement.

Le moteur est à trois cylindres, placés à 120 degrés, à simple effet. L'arbre moteur est entièrement équilibré et tourne dans un carter à bain d'huile, ce qui assure le graissage et met les organes à l'abri de la poussière. A une extrémité de l'arbre est calé un petit volant, à moyeu excentré, commandant, par des bielles, les trois tiroirs de distribution.

Le moteur est à *changement de marche*, ce qui permet de ramener rapidement en arrière la vis porte-outil. A cet effet, sur l'arbre moteur, au droit de l'excentrique, sont pratiquées deux rainures de calage, correspondant aux marches avant et arrière. Une poignée articulée, adaptée au volant, permet à l'ouvrier de dégager une cale de sa rainure : le volant, rendu libre, peut alors tourner; dès que la cale arrive en face de la rainure du calage de marche inverse, elle s'y engage par l'effet d'un ressort, et par l'effort même de l'ouvrier pour tourner le volant.

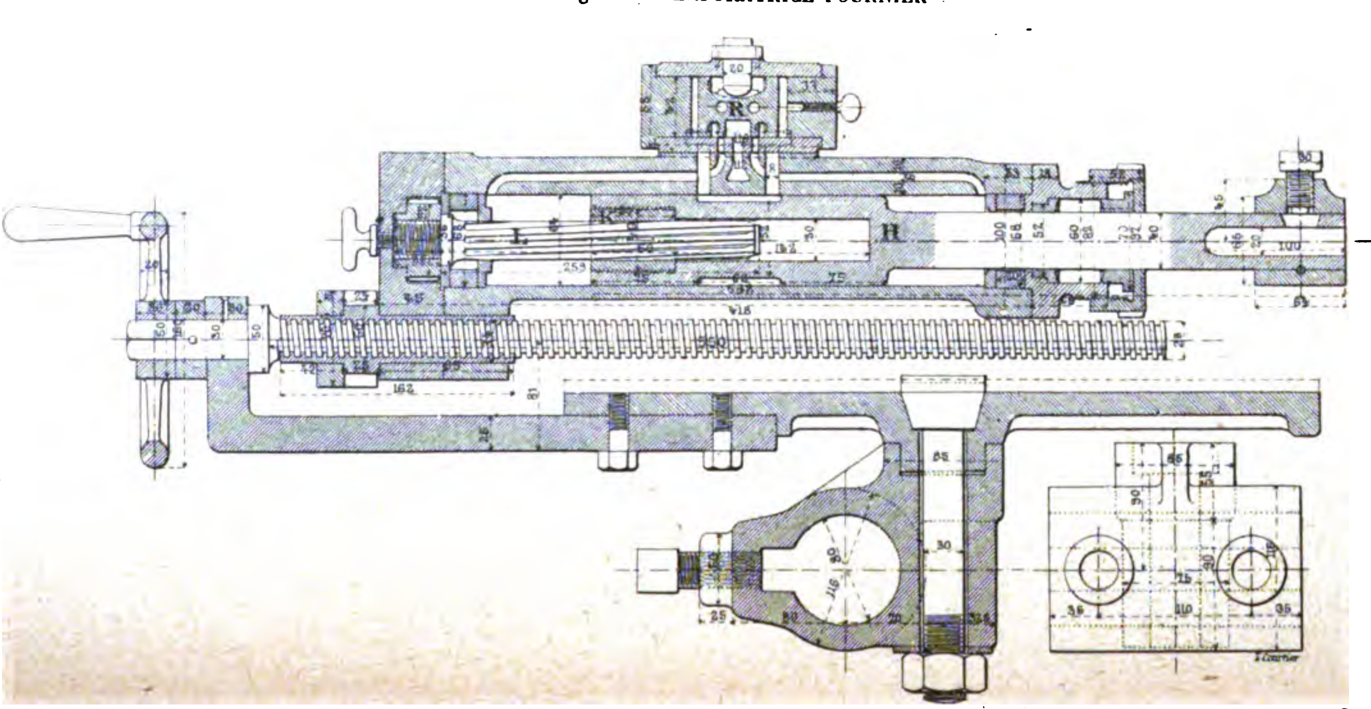
On peut adapter l'injection d'eau, permettant le refroidissement de la partie travaillante et agir ainsi sur des terrains plus durs.

La machine marche à 220 tours et exige une puissance motrice de 2 1/4 à 2 1/2 ch, qu'il serait préférable de porter à 3 ch. L'outil tourne à 70 ou 80 tours.

La Société des Mines de Dourges, à la fosse n° 6, dite de Clercq, a obtenu les résultats suivants :

En trois heures on a foré cinq trous de mine de 2,50 environ chacun, y compris les déplacements de l'appareil.

Fig. 6. — PERFORATRICE FOURNIER



M. *A. Fournier fils* exposait :

1° Des *perforatrices ;*

2° Un *affût-trépied* pour perforatrices à air comprimé;

3° Un *affût sur chariot* pour perforatrices à percussion.

Voici la description de ces appareils :

Les perforatrices *(fig. 6)* se composent d'un cylindre, en fonte, dans lequel se meut un piston, pouvant marcher à la vapeur ou à l'air comprimé qui arrivent directement dans la boîte à tiroir et se distribuent au cylindre au moyen d'un tiroir à fonctionnement automatique L'extrémité du piston est percée d'un trou, dans lequel est vissé un écrou en bronze; l'intérieur porte des rainures lui permettant de fonctionner sur une hélice en acier, à l'extrémité de laquelle est un petit rochet denté.

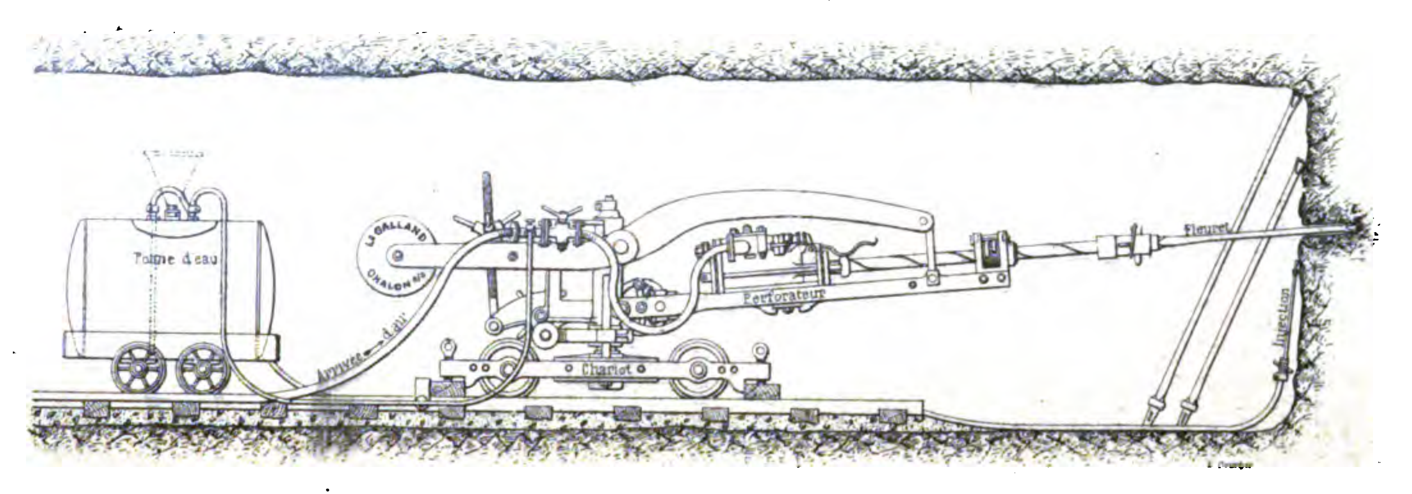
Deux cliquets, montés sur axe dans leur boîte, et tenus constamment en action sur le rochet au moyen de ressorts, ne laissent prendre à l'hélice que la rotation dans un seul sens; au moyen de cette disposition, lorsque le piston se meut du côté de la frappe, l'écrou en bronze, de même que le piston, prend le mouvement de rotation que lui donne l'hélice, car, pendant ce mouvement, cette dernière ne peut tourner, étant retenue par le rochet et les cliquets. Dans le mouvement contraire, c'est-à-dire lorsque le piston revient, l'hélice n'étant plus retenue par les cliquets, tourne de quelques dents, jusqu'à ce que le piston ait pris son mouvement contraire du côté de la frappe. A chaque coup double, ces mouvements se reproduisent, ce qui donne au fleuret, monté à l'extrémité de la tige du piston, un mouvement rotatif constant dans le sens de son travail.

M. *L. Galland* exposait une *bosseyeuse à air comprimé et à percussion* pour l'abatage du charbon, et qui comprend trois parties : la perforatrice, la colonne et le secteur. La perforatrice, dite de 120, série A, est du type ordinaire et reçoit son mouvement d'avancement à l'aide d'une vis. L'outil est à cinq dents et se place à l'extrémité de barres dont la longueur varie de 0,50 m à 2,50 m *(fig. 7)*.

La colonne peut aller dans des galeries de 2,50 m à 2 m, mais peut être construite pour toute autre hauteur; elle est à serrage hydraulique, à l'aide d'un petit pot de presse, formant la base de la colonne.

Le secteur porte la perforatrice; il est denté, placé sur un collier, fixé sur la colonne, à hauteur convenable; il peut être orienté dans tous les sens. On donne à la perforatrice un mou-

Fig. 7. — BOSSEYEUSE GALLAND, DE 120.



vement de rotation au moyen d'une manivelle, par l'intermédiaire du secteur; ce mouvement s'effectue dans un même plan, déterminé par la position du secteur sur son collier; il s'établit d'après l'inclinaison des couches de charbon.

Lorsque la perforatrice fonctionne et que l'on manœuvre le secteur, l'outil décrit un arc de cercle, et pratique une entaille, dont la longueur varie de 2 à 3 m, dont la profondeur peut atteindre 2 m, suivant la nature du charbon. On peut découper un bloc en faisant des entailles verticales et horizontales, et l'abattre mécaniquement ou à la mine.

Cet appareil est monté sur un affût à chariot. Il peut, dans les mines grisouteuses, faire le havage et les trous nécessaires pour exécuter l'abatage, sans le secours de la poudre et au moyen d'aiguilles-coins, le perforateur fonctionnant comme masse.

La *Société nouvelle des Établissements de l'Horme et de la Buire* avait exposé :

1° Des perforatrices Eclipse-Burton, pour des chantiers de faible importance, car cet appareil tient moins de place que les suivants et est plus facile à installer;

2° Des bosseyeuses Dubois et François ayant pour caractéristiques :

| | |
|---|---|
| Diamètre du cylindre . . . . . . . . . . | 120 mm |
| Course de l'outil. . . . . . . . . . . . . | 200 — |

Ces bosseyeuses sont montées sur un affût à chariot pouvant s'élever et s'orienter dans tous les sens.

Comme il a déjà été dit plus haut pour ce genre d'appareils, dans les chantiers grisouteux, l'abatage se fait au moyen d'aiguilles-coins, le perforateur faisant fonction de marteau.

On peut, en outre, se servir d'une injection d'eau automatique, pour avancer plus vite, supprimer les poussières et rendre l'air à respirer moins malsain.

La *Société de l'Industrie internationale* présentait divers appareils de fabrication américaine :

1° Une *perforatrice à percussion*, pouvant marcher à l'air comprimé ou à la vapeur, du système de la « Rand Drill C° » et du type « Petit Géant », pour roches dures et demi-dures.

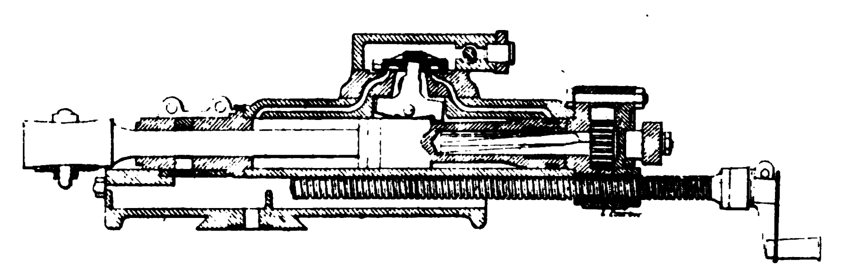
L'air comprimé est préférable, dès qu'il s'agit d'une installation comportant plus de deux ou trois perforatrices, afin d'éviter la condensation et la perte de pression, qui pourraient se produire dans la très grande longueur du tuyau d'amenée.

L'outil est un fleuret en acier, fixé à l'aide d'une mâchoire spéciale, dans le prolongement de la tige du piston *(fig. 8)*. Une distribution directe, à tiroir, commandée par une came-levier à trois branches et mobile autour d'un axe, produit le mouvement de va-et-vient.

Le tiroir se meut dans le même sens que le piston. Le levier est placé en retrait, entre les deux bouts du piston, sa branche supérieure pénétrant dans le tiroir; le levier est ainsi poussé

Fig. 8. — PERFORATRICE « PETIT GÉANT »

Système RAND DRILL.



par le piston en mouvement, et il fait simultanément fonctionner le tiroir.

La tige du piston et la mâchoire, ou porte-fleuret, sont spéciaux. Le porte-fleuret est plein, renflé à l'extrémité de la tige du piston. La clavette saillante, qui va jusqu'à la queue de la tige du fleuret, est maintenue par un boulon en U, ayant assez d'élasticité pour absorber le choc de la percussion et empêcher les ruptures fréquentes.

Le mouvement de rotation, dans la marche arrière, s'effectue au moyen d'une rainure héliçoïdale, placée à la partie postérieure de la tige qui traverse la roue à rochet.

Le cylindre moteur et l'appareil pivotant peuvent glisser dans une rainure-guide, montée sur le support, au fur et à mesure de la pénétration de la roche.

Les *affûts* appartiennent aux formes à *trépied*, à *colonne* et à *barre*.

Les *affûts-trépieds* sont de deux genres : simple ou à réglage. Ce dernier permet de faire fonctionner l'appareil, même dans les positions extrêmes, horizontale, au haut et au bas d'un banc, ou verticale contre un banc à abattre.

Les *affûts-colonnes* sont de la hauteur courante de 1,82 m, vérins rentrés, pouvant être augmentée de 254 mm, en dévissant

les vérins, et même encore de 50 à 70 mm en plus, au moyen d'une cale placée en bas, à chaque extrémité de la colonne. Chaque colonne peut porter deux perforatrices.

Dans les tunnels de 8 m de largeur sur 7,50 m de hauteur, avec galerie d'avancement de 2,50 m de hauteur, on emploie généralement quatre perforatrices sur colonne, dans la galerie, et deux sur trépied, à la banquette.

Dans les tunnels de 4,50 m sur 5,50 m, avec galerie d'avancement de 2,50 m, on emploie trois perforatrices.

L'*affût-barre pour puits* a la forme d'une colonne, placée horizontalement; sa longueur est variable, mais doit être inférieure de 305 mm au diamètre du puits pour permettre l'allongement des vérins et le calage. La course de ceux-ci est de 610 mm; mais, pratiquement, on ne dépasse pas 300 mm. Les cales en bois doivent avoir de 50 à 75 mm d'épaisseur. Le vérin est muni d'un écrou d'arrêt spécial.

Cette Société présentait en outre :

2° Une *haveuse à air comprimé*, à chaine, type 16 D, du système Jeffrey, appliqué à la fosse n° 3 des mines de Bruay.

Comme les autres haveuses du même genre, cet appareil se compose de trois parties :

Un bâti en fer, susceptible de s'arc-bouter contre le front de taille et contre le toit;

Un cadre mobile, en acier fondu, qui porte une chaine garnie de couteaux ou dents, destinées à entailler le charbon, la chaine étant directement actionnée par une roue dentée motrice, et dirigée dans son mouvement par deux guides d'acier;

Un chariot moteur faisant corps avec le cadre mobile et actionnant la chaine.

Ces deux dernières parties forment un ensemble pouvant avancer sur le bâti, vers le front de taille, indépendamment du mouvement de la chaine, et par le moyen d'un engrenage à crémaillère, commandé par le moteur. Lorsque le cadre est arrivé à fond de course, un levier de changement de marche permet de le ramener à sa position première.

Le moteur à air comprimé ou électrique est de 15 ch.

Les engrenages sont en acier et taillés à la machine; les paliers offrent de grandes surfaces pour diminuer l'usure; les coussinets sont en bronze.

La chaine, qui est l'organe le plus important de ces machines, est formée de chainons porteurs de dents, qui sont en acier fondu,

et calculés pour les plus fortes tensions qu'ils peuvent être appelés à supporter, de façon à résister aux chocs et aux à-coups ; les autres chainons sont en acier forgé, et capables de fournir un long service.

Ces haveuses peuvent recevoir deux ou trois jeux différents de pignons et de roues dentées, correspondant à trois vitesses différentes, pour permettre, dans chaque cas, de choisir la plus convenable.

3° La même Société exposait de plus les photographies d'une *haveuse à disque à air comprimé* du système Jeffrey, pour chantiers en *longwall*, d'une hauteur totale de 0,47 m et de 0,90 m de largeur, sans le disque, d'une longueur totale de 2,45 m, avec des vitesses de 0,20, 0,40 ou 0,60 m par minute, et changement de vitesse de marche. Comme la précédente, elle fait le havage exactement au ras du sol.

4° Enfin, la même Société donnait des reproductions de *perforatrices du système Jeffrey, à rotation et à main* ou à l'air comprimé, type « Géant », pour travail au charbon et aux roches, permettant de forer sous divers angles, ainsi que celles d'une mèche à forer les trous, destinés à recevoir les supports isolants des conducteurs électriques.

La *Société des Mines de Lens* exposait un *Perforateur universel.*

Ce perforateur se compose d'un écrou, logeant une vis, terminée par un carré à chacune de ses extrémités. A chaque extrémité de l'écrou est une bague, fixée à demeure par une vis entre cuir et chair. L'écrou est serré dans une bague à tourillons, fendue, et dont le serrage est réglé par une vis. Deux rondelles frottent contre chacune des bagues vissées sur l'écrou.

Chacun des carrés de la vis sert alternativement pour la clef à rochet de manœuvre et pour l'emmanchement des fleurets. Ceux-ci, tordus en hélice, présentent un carré à une extrémité et sont fendus à l'autre.

L'affût est en fer forgé, et composé d'un châssis en U, avec une série d'encoches pour le logement des tourillons du perforateur.

Dans l'application, on met le perforateur sur l'affût, et, à l'aide du cliquet, on agit sur la vis.

Tant que la roche est tendre, l'écrou, serré par le tourillon fendu, reste fixe, et le fleuret avance, à chaque tour, de la longueur d'un filet.

Dès que la roche devient dure, et que l'effort exercé est supé-

rieur à celui qui est nécessaire pour vaincre la résistance du frottement du tourillon et des rondelles, cet écrou se met à tourner de telle façon que le mouvement différentiel résultant amène un avancement moindre de l'outil.

Chaque appareil comporte trois fleurets de longueur telle que, la vis étant à fond de course, il suffit de donner un demi-tour à l'ensemble pour marcher avec un nouveau fleuret de longueur plus grande.

La *Compagnie des Mines de Vicoigne et de Nœux* exposait une *Perforatrice Sullivan* sur trépied, type US, pour le creusement des puits, ayant marché à l'air comprimé dans les travaux du fond, mais pouvant aussi être actionnée à la vapeur.

## Chapitre VII. — **Perforation électrique.**

### Perforatrices et haveuses.

La *Société anonyme française de l'Industrie internationale* exposait :

1° Une *perforatrice rotative à tarière rubannée*, du système *Jeffrey*, modèle A 1 1/2, destinée aux mines de Firminy, pouvant faire, dans un charbon bitumineux, un trou de 50 mm, avec un avancement de 1,80 m en une minute ;

2° Une *haveuse électrique*, du système *Jeffrey*, à chaîne et à chariot automoteur, qui est plus particulièrement destinée aux veines à charbons durs, et dont la disposition mécanique a déjà été décrite ci-dessus, au chapitre VI.

Le moteur, d'une puissance de 8 kilowatts, est multipolaire et du type cuirassé. (A Arras, il marchait sous 500 volts.)

3° La même Société exposait, en outre, les photographies de *haveuses électriques à disque*, du système Jeffrey, et dont la disposition mécanique a déjà été décrite ci-dessus, au chapitre VI.

La *Compagnie des Mines de houille de Marles* exposait :

1° Une *perforatrice électrique*, du système *Morgan-Gardner*, dont le travail est destiné à compléter celui des haveuses du même système, décrites ci-après. Cette perforatrice est actionnée par un petit moteur blindé de 2 kilowatts, sous 500 volts, porté par un châssis-affût, lui permettant de prendre toutes les positions; le moteur attaque, par pignon, une roue dentée entraînant, par ergot, la vis d'avancement au bout de laquelle se fixe le foret; l'installation de l'ensemble est très rapide; en traçage, les trous

de mines nécessaires à l'abatage (ordinairement quatre trous de 1,80 m) peuvent être forés en moins d'une heure;

2° Une *haveuse à pic Morgan-Gardner*, destinée à pratiquer une sous-cave en veine. La haveuse agit par percussions rapides (175 à 225 coups par minute) et par éclatement du charbon: on obtient ainsi une très faible proportion de menu, même dans la production du havage. L'appareil convient très bien aux veines dures n'ayant point de haveries; il peut être employé dans des veines d'assez faible puissance.

3° Une *haveuse électrique à chaîne Morgan-Gardner*, qui est employée uniquement aux traçages des grandes tailles et aux traçages secondaires. Le transport de la machine, d'un front à un autre, se fait sur truck *ad hoc*, muni d'un petit treuil facilitant le chargement;

4° Une *haveuse ripante Morgan-Gardner*, 15 kilowatts, sous 500 volts, qui est destinée aux grands fronts de taille *(Long wall mining machine)*. La profondeur du havage obtenu est de 1,50 m environ. La chaîne se traîne à même sur le mur de la veine;

5° Une *haveuse Diamond*, qui s'emploie dans les mêmes conditions que la haveuse ripante Morgan.

La *Compagnie des Mines de Vicoigne et de Nœux* exposait une *perforatrice rotative* et une *perforatrice à percussion*, toutes deux du système *Siemens*.

Ces appareils sont commandés par flexible et moteurs à courants triphasés (120 volts, 50 périodes), enfermés dans une caisse portative avec leurs accessoires, rhéostats de démarrage, fusibles, harnais d'engrenage. Ces deux appareils ont servi aux travaux préparatoires de la fosse n° 8.

## Chapitre VIII. — **Puits, galeries et méthodes d'exploitation.**

En ce qui concerne les travaux d'exécution et d'installation de puits et galeries, ainsi que les méthodes d'exploitation, tant au point de vue des procédés que du matériel employé, les exposants étaient peu nombreux.

PUITS ET PROCÉDÉ DE LA CONGÉLATION.

La Société anonyme *Entreprise générale de Fonçage de puits, études et travaux de mines*, exposait plusieurs tableaux, relatifs au fonçage des puits par la méthode de la congélation (procédé Pœtsch), méthode qui constitue l'une de ses spécialités.

Cette Société, qui a été constituée en 1896, a détenu, jusqu'à l'expiration du brevet Pœtsch, une licence exclusive pour l'application, en France, de ce procédé.

Jusque-là, la congélation des terrains pour le fonçage des puits, employée pour la première fois avec succès, dans notre pays, en 1891, par M. Reumaux, aux mines de Lens, ne s'était pas répandue en dehors du bassin du Nord et du Pas-de-Calais.

Ladite Société, sans compter de nombreuses applications dans cette dernière région, notamment aux mines de Béthune (fosse n° 8 *bis*), Bruay (fosses n$^{os}$ 5 *ter* et 2 *bis*), l'Escarpelle (fosse n° 7 *bis*), Flines-lez-Raches (fosse n° 2), Ligny-lez-Aires (puits n$^{os}$ 2 et 2 *bis*), Marles (fosse n° 6), a employé le système de la congélation en Meurthe-et-Moselle, à Auboué, pour la traversée de calcaires très durs et très fissurés, recouvrant le gisement de minerai de fer du bassin de Briey, et aussi aux environs de Hanovre, pour la traversée de dépôts de gypse et d'argiles imprégnés d'eaux salines.

La même Société, en dehors de ses travaux de congélation, a effectué, en Meurthe-en-Moselle, un fonçage à niveau vide, à Moutiers, près de Briey, pour la Société métallurgique de Gorcy; elle en fait un autre actuellement, dans la même région, à Sancy, pour MM. Mars, Raty et C$^{ie}$; elle s'est aussi occupée, dans le premier bassin, d'études diverses, dans les concessions de Jouaville et Batilly.

Signalons enfin que cette Société a apporté un important perfectionnement aux fonçages par congélation, en indiquant une méthode pour mesurer les déviations des sondages (1).

Les tableaux qu'elle exposait, à Arras, concernaient les fonçages de l'Escarpelle, de Bruay (fosse n° 2 *bis*) et de Ronnenberg (Hanovre).

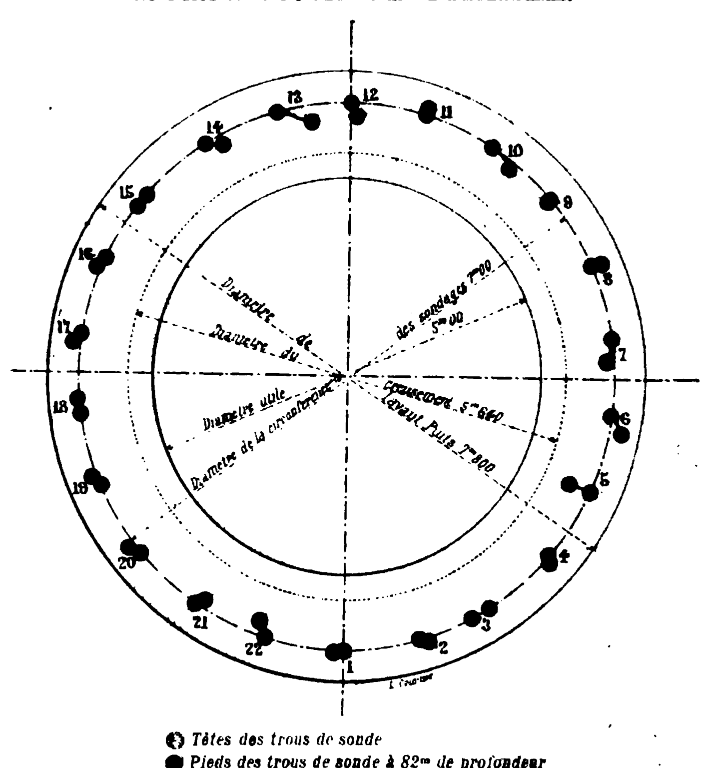
Le premier est relatif à la fosse n° 7 *bis* de l'Escarpelle, destinée à doubler le n° 7 à Courcelle-lez-Lens (Pas-de-Calais). Il

(1) Voy. la notice.

permet de se rendre compte de la rapidité d'exécution des sondages et de la marche de la machine frigorifique, durant les diverses phases du travail.

A Courcelles, les dièves sont suffisamment étanches; elles apparaissent vers 60 m de profondeur; d'abord peu plastiques, mélangées de calcaire gris avec bancs de silex; elles ne deviennent compactes que vers 65 m. La profondeur des terrains à congeler avait été fixée à 80 m par la Compagnie de l'Escarpelle, et le puits devait avoir 5 m de diamètre utile.

Fig. 9. — DISPOSITION ET DÉVIATION DES SONDAGES
pour le procédé de la congélation
AU PUITS N° 7 *bis* DES MINES DE L'ESCARPELLE.




*Têtes des trous de sonde*
*Pieds des trous de sonde à 82m de profondeur*

On effectua vingt-deux sondages, sur une circonférence de 7 m de diamètre (*fig. 9*). Les trous de sonde furent exécutés par le procédé Raky, qui avait déjà donné satisfaction, pour un travail analogue, à la fosse n° 5 *ter* des mines de Bruay.

On creusa une tranchée demi-circulaire de 1 m de largeur et

3,20 m de profondeur, dans laquelle on coula 0,30 m de béton pour y noyer les tubes-guides des sondages, puis la tranchée fut remblayée.

Le 22 août 1902, les dix premiers tubes-guides étaient mis en place et l'on commença à battre. On poussa les sondages jusqu'à 82 m de profondeur, et on y descendit, au fur et à mesure, les tubes congélateurs et les colonnes de tubes à gaz; ces dix premiers sondages furent terminés en un mois. On plaça ensuite les tubes-guides pour les douze derniers sondages, qui furent aussi achevés en un mois. Le travail de sondages dura exactement soixante-six jours en tout, finissant le 27 octobre. Malgré cette rapidité d'exécution, les déviations des trous de sonde ne dépassèrent guère 25 cm, sauf un, le n° 13, dont la déviation atteignit 46 cm.

Le matériel frigorifique, dont le montage s'était fait simultanément avec les sondages, comprenait :

Un compresseur d'ammoniaque, système Fixary, pouvant produire 1 000 kg de glace à l'heure, avec deux condenseurs et deux réfrigérants.

Le compresseur était actionné, au moyen d'une courroie, par une machine à vapeur horizontale, monocylindrique, à détente Rider, variable par le régulateur, capable de développer 80 ch à sa vitesse normale de 80 tours.

Comme la quantité d'eau dont on disposait n'était pas suffisante, et qu'on ne voulait pas faire de puits alimentaires au voisinage, ce qui aurait pu gêner la congélation, on installa un réfrigérant à fascines, dont l'eau était aspirée par une pompe Burton, et refoulée par elle dans les cuves condensantes; celles-ci étaient suffisamment surélevées pour que le trop-plein pût s'écouler vers le réfrigérant.

Enfin, une pompe Worthington assurait la circulation du chlorure de sodium; à sa vitesse maxima elle pouvait débiter de 50 à 60 m³ à l'heure. Une pompe de réserve semblable était installée à côté.

Sur la conduite d'aspiration était placé un clapet automatique de fermeture, d'un système spécial, breveté, destiné à arrêter la circulation en cas de baisse du niveau du liquide dans les cuves réfrigérantes.

Le creusement et le muraillement de l'avant-puits furent effectués après les sondages. Toute l'installation était prête le 1er janvier 1903.

Par suite de retards dans la livraison des chaudières, la mise en marche ne put avoir lieu que le 29 mars.

Durant la congélation des terrains, la Compagnie de l'Escarpelle monta le chevalet, la baraque de fonçage, et creusa le puits jusqu'à 16 m de profondeur, c'est-à-dire jusqu'au niveau de l'eau.

Le 15 mai, les observations de ce niveau indiquaient que le mur de glace était fermé; et le 19 mai. après cinquante-deux jours de marche, la Société d' « Entreprise de fonçage de Puits » avisait la Compagnie de l'Escarpelle qu'elle pouvait commencer le fonçage en terrains congelés.

En trente-quatre jours, le fonçage avança de 65 m. Au début et jusqu'à 50 m de profondeur, le puits n'étant pas congelé sur toute sa section, la partie centrale donnait de l'eau qui gênait le tirage à la poudre noire; on la remplaça alors par de plus faibles charges de dynamite, lesquelles ayant été placées à 1 m au moins des parois, n'occasionnèrent aucun accident.

A la base des terrains congelés, on plaça deux trousses superposées; la pose du cuvelage en fonte jusqu'au-dessous du niveau de l'eau fut achevée le 8 juillet. Le creusement fut alors repris et poussé jusqu'à 85 m. A cette profondeur, en terrain non congelé, on établit deux trousses inférieures, qu'on raccorda aux deux précédentes par quelques anneaux de cuvelage, qui étaient en place le 16 juillet. On arrêta alors les machines frigorifiques, c'est-à-dire trois mois et demi après leur mise en marche.

Un second tableau, exposé par la Société de Fonçage, était relatif à l'installation d'une machine Fixary pour la congélation des terrains à l'emplacement de la fosse n° 2 *bis* des mines de Bruay. Cette machine est capable de produire 1 500 kg de glace à l'heure. Le compresseur est actionné par un moteur électrique de 100 ch, et en cas d'avarie, il peut être commandé par un électro-moteur de 50 ch; il marche alors à vitesse réduite.

Le puits a 4,50 m de diamètre utile; la congélation atteint 63 m de profondeur.

Vingt sondages ont été forés, sur une circonférence de 6,50 m de diamètre, au moyen d'un appareil genre Raky, comme à l'Escarpelle. Leur exécution a demandé cinq semaines; la déviation maxima a été de 260 mm.

La mise en marche des machines a eu lieu le 20 juillet 1904

Le 1er septembre, le mur de glace paraissait fermé. On entreprit le creusement, mais après avoir avancé d'environ 3 m on

découvrit un plat banc qui donnait de l'eau. Le retard de la congélation dans ce plat banc provenait sans doute de la facilité qu'il offrait à la circulation de l'eau, laquelle était appelée vers un puits d'alimentation situé à quelque distance.

Le creusement fut arrêté aussitôt; on le reprit le 26 septembre. Il s'est poursuivi dès lors sans incident.

Un troisième tableau de la même Société représentait l'installation des machines frigorifiques au puits des mines de potasse de Ronnenberg (Hanovre).

Le puits devait avoir 5,50 m de diamètre utile et 125 m de profondeur. Il y avait ici deux particularités : les terrains à congeler sont fissurés et les eaux souterraines sont salines, avec une teneur qui est de 3 0/0, à 32 m de profondeur (1). Il y eut trente sondages à faire, de 126 mètres de profondeur chacun, répartis sur une circonférence de 9 m de diamètre et qui furent exécutés par des sondeurs de Hanovre. Le travail commença en juillet 1899 et les sondages étaient terminés en décembre 1900.

Les particularités du travail conduisirent à monter des machines frigorifiques d'une puissance considérable. Ces machines, construites par les ateliers Humboldt, comprenaient deux compresseurs de 300 mm de diamètre et de 650 mm de course, garantis pour donner 240 000 frigories à — 25 degrés, ou 300 000 à — 15 degrés.

Les presse-étoupes étaient à ressorts ; ils étaient refroidis par de l'ammoniaque comprimée, puis détendue ; le graissage se faisait par un compte-gouttes, qui débitait de l'huile sur la tige du piston, à son entrée dans le presse-étoupe.

Des soupapes de sûreté, placées sur le refoulement des compresseurs, empêchaient tout accident dans le cas d'une fermeture intempestive des robinets d'arrêt. Ces compresseurs étaient commandés, au moyen de courroies, par des moteurs complètement indépendants l'un de l'autre, pouvant développer 70 à 80 ch. La distribution était à soupapes.

| | | |
|---|---|---|
| Le diamètre du cylindre était. . . . | de | 350 mm |
| La course des pistons . . . . . . | de | 750 — |
| La pression de la vapeur. . . . . . | de | 8 kg |

L'ammoniaque était refoulée dans deux condenseurs à serpentins. La surface refroidissante était de 130 m² par appareil. Ces deux condenseurs avaient un récipient d'ammoniaque commun,

(1) Voy. la Notice de la Société.

disposé de manière à faciliter la descente du liquide dans le réservoir.

Il y avait deux vaporisateurs, a huit serpentins chacun : l'arrivée du liquide dans chaque serpentin était réglée par un robinet spécial, ce qui fournissait un moyen d'égaliser la détente dans les circuits, et d'obtenir une bonne répartition du froid dans la solution de chlorure.

La surface d'évaporation était de 150 m² par appareil. La tuyauterie permettait de marcher avec l'un des vaporisateurs seul.

Les machines furent mises en marche le 23 janvier 1901, et, en avril, la paroi de glace était fermée. Le creusement, en terrain congelé, commença le 26 avril, et, le 29 novembre suivant, le fonçage atteignait la profondeur de 125 m.

A ce niveau, les trous de mines donnèrent une venue d'eau de 450 l par minute, tenant 25 0/0 de sel, et qui, par conséquent, était incongelable.

### Puits.

La *Compagnie de Fives-Lille* exposait des photographies d'un matériel de congélation pouvant produire de 100 000 à 120 000 frigories à l'heure, et composé de deux compresseurs à ammoniaque, mus par transmission, accouplés sur le même arbre, avec piston de 0,25 m de diamètre, 0,600 m de course. Chaque compresseur dessert un réfrigérant et un condenseur avec serpentins, donnant une surface de 75 m². On peut réduire de moitié la production du froid en isolant un des compresseurs au moyen de vannes.

### Galeries.

La *Société des Mines de Lens* présentait un système de *serrement en fonte*, appliqué à sa fosse n° 10, où l'on exploite les couches inférieures du bassin, voisines du calcaire carbonifère. Ce dernier, très aquifère, donne souvent des veines d'eau énormes.

Pour les éviter, on a disposé sur les galeries de communication, trois serrements, qui comportent un siège très solide en fonte, relié aux parois de la galerie au rocher, par une bonne maçonnerie de briques, béton et ciment, ainsi qu'une porte en acier fondu, de grandeur suffisante pour le passage des convois. La porte s'applique sur son siège, par l'intermédiaire d'une lame

de plomb et d'une feuille en caoutchouc, destinées à former joint étanche. Des boulons permettent d'ailleurs d'obtenir de prime abord un serrage énergique.

L'un de ces serrements, établi à la partie la plus profonde des travaux, a été essayé à la pression pour laquelle il avait été construit, celle de 250 m d'eau, ou de 25 kg par centimètre carré, et il a parfaitement résisté.

La *Société des Mines de Meurchin* exposait un plan et des coupes de ses travaux de recherche à la fosse n° 2; celle-ci, noyée en 1866, par une venue d'eau subite provenant du calcaire carbonifère, a été reprise en vue de recherches à poursuivre dans la région est. A cet effet, on a d'abord aveuglé la venue d'eau, à l'aide d'une *plate-cuve* en ciment, placée dans le puits à 125 m de profondeur. On a fait ensuite des bowettes dans les dièves, pour s'écarter du pointement de calcaire rencontré par la fosse. On a établi à l'extrémité de ces bowettes des *serrements métalliques*. Sous la protection de ces serrements, on a creusé des bures, qui sont entrées dans le terrain houiller, où l'on a pu exécuter les recherches projetées, et celles-ci ont fait découvrir plusieurs veines exploitables, dans les régions nord-est et sud-est de la concession.

## Exploitation souterraine.

Les Compagnies ou Sociétés de *Bruay*, *Dourges*, *Lens*, *Meurchin*, *Vicoigne et Nœux*, exposaient des plans à grande échelle de leurs exploitations souterraines.

La *Compagnie des Mines de houille de Courrières* exposait un modèle, à l'échelle de 1/2, d'une *exploitation de crochon*.

La méthode appliquée est par *tranches horizontales et remblais complets (fig. 10)*.

Les tranches ont de 2 m à 2,20 m d'épaisseur. Elles sont disposées en gradins renversés, pris en travers du crochon, dans toute sa longueur.

Les gradins ont un avancement parallèle et continu, de façon que le charbon, ne restant excavé que quelques jours, n'ait pas le temps de s'échauffer.

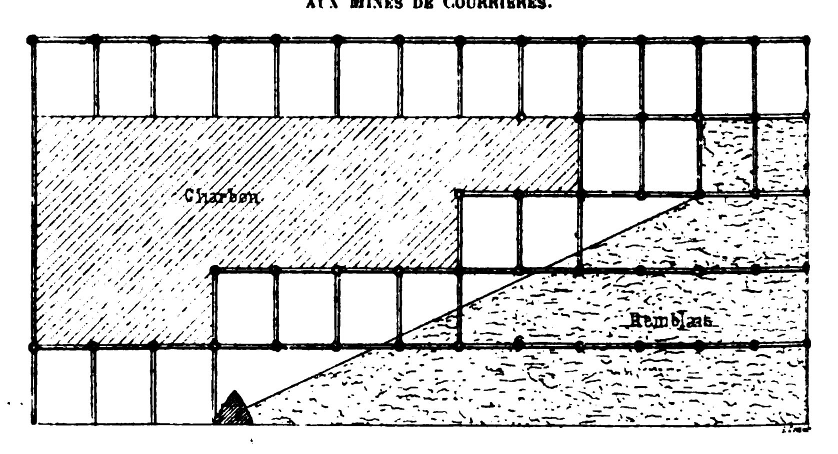
Le boisage est exécuté systématiquement au mètre, avec superposition des bois, d'une tranche à l'autre.

L'attaque est faite en rabattant, et les voies sont abandonnées au fur et à mesure qu'on recule.

Du côté du crochon à déhouiller, une voie en ferme sert à l'évacuation du charbon abattu.

Dans la taille de la première tranche, on a fait l'emploi des

Fig. 10. — MÉTHODE D'EXPLOITATION D'UN CROCHON AUX MINES DE COURRIÈRES.




allonges en fer, pour soutenir provisoirement le toit, dans la partie précédant la dernière ligne du boisage définitif, en attendant que l'on ait l'avancement nécessaire pour poser la ligne suivante du boisage.

Dans la voie du haut, par où arrivent les remblais, est un taquet automatique empêchant les berlines de partir en dérive, et employé fréquemment dans les galeries inclinées, montées, treuils, descenderies.

### Exploitation a ciel ouvert.

M. *L. Reignard*, qui exposait des grès à pavés du Bois-des-Roches (Seine-et-Oise), décrits déjà au chapitre V ci-dessus, a indiqué la méthode d'exploitation à ciel ouvert, pour *grands fronts de taille*, qu'il applique dans cette carrière *(fig. 11)*.

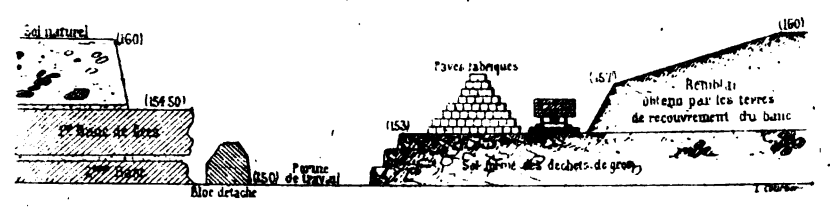
Les terres de recouvrement du banc de grès sont d'abord enlevées, chargées et transportées sur des wagonnets et voies Decauville, franchissant les *formes* sur des ponts volants, pour être rejetées, en remblai, dans les parties déjà exploitées, afin de reconstituer l'ancien sol. Ces terrassements sont conduits de façon à laisser à découvert, toujours une largeur de banc ou un grand front de taille de 10 à 15 m. Le travail exige trente à qua-

rante terrassiers et quatre chevaux pour la traction des wagonnets; ceux-ci cubent 500 l; les voies sont en rails de 7 kg et à 0,50 m d'écartement.

Puis le banc de grès, ainsi découvert, est attaqué par des trous de mines distants de 3 à 5 m, suivant la position des

Fig. 11.

EXPLOITATION A CIEL OUVERT DE LA CARRIÈRE DU BOIS-DES-ROCHES (Seine-et-Oise).




joints. Pour cela, les mineurs se servent, soit de perforatrices à vapeur du système Burton, soit de barres à mines. Les coups de mines sont chargés à la poudre noire comprimée. On détache ainsi des blocs de grès de volume considérable, atteignant jusqu'à 300 et 400 m³.

On réduit ces blocs successivement en fragments plus petits, jusqu'à la dimension des pavés. A cet effet, ce sont soit des coups de mine, soit des couperets en acier, très pesants, qui servent au travail des ouvriers refendeurs.

Les tailleurs, à l'aide de ciseaux ou de massettes, réduisent ces fragments aux dimensions voulues des pavés. Les déchets sont rejetés aux remblais.

Ces pavés sont alors mis en tas réguliers, en arrière du chantier exploité, le long d'une voie ferrée de 0,60 m, par laquelle les produits finis sont dirigés au lieu d'expédition, où ils sont chargés sur des tombereaux, les conduisant à la gare de Saint-Chéron, située à 2,5 km des carrières.

## TABLE DES FIGURES DANS LE TEXTE



---

# TABLE DES MATIÈRES

**Deuxième section : Outillage de mineurs et travaux souterrains.**

# CHRONIQUE

## N° 304.

---

SOMMAIRE. — Les ponts à bascule modernes. — La traversée de la Manche. — Les turbines à vapeur. — Les forêts de la Californie. — Application de l'air liquide.

**Les ponts à bascule modernes.** — M. Joseph-B. Strauss a lu, au mois de novembre dernier, à la Western Society of Engineers, à Chicago, un mémoire sur les ponts à bascule modernes, travail qui parait assez intéressant pour qu'un résumé trouve place ici.

Disons tout de suite que si l'auteur a ajouté au titre de son mémoire l'adjectif *moderne*, c'est parce que le système de ponts qui en fait le sujet est en principe d'origine très ancienne, c'est le pont-levis primitif, d'un usage général dans les fortifications et pour la traversée des petits cours d'eau navigables, mais ce n'est que depuis un temps relativement court que ce genre de ponts a pris un développement considérable, surtout aux États-Unis. Ainsi, à Chicago, les ponts à bascule existant actuellement représentent une dépense d'établissement de 25 millions de francs, on trouverait des chiffres peu inférieurs pour diverses villes d'Amérique et pour les Compagnies de chemins de fer qui en font un grand usage. En Europe, ces ouvrages se rencontrent plus rarement, sauf dans les ports maritimes et en Hollande où la multiplicité des canaux de navigation oblige à recourir à leur emploi.

Le pont basculant est très supérieur au pont tournant; il présente, en effet, sur son concurrent l'avantage très précieux de ne pas occuper sur les quais un espace latéral qu'on peut utiliser pour le commerce et la manutention des marchandises et le stationnement des navires; il permet de plus larges ouvertures libres et la rapidité comparative de sa manœuvre n'entrave la circulation sur ou sous le pont que le moins de temps possible; cette considération a une grande valeur pour les chemins de fer et pour les villes sur les voies où la circulation est très active. Le pont dont nous nous occupons a, par contre, le désavantage de coûter un peu plus de construction que son rival, mais la différence est faible, et sa supériorité, sous d'autres rapports, doit faire pencher la balance en sa faveur d'autant plus que cette différence de prix pourra disparaître dans l'avenir par diverses améliorations de détails.

Il y a encore quelques autres systèmes de ponts mobiles, tels que ponts à tirage, ponts de bateaux ou ponts flottants, ponts à levée verticale, etc., mais, sauf le type récent de pont transbordeur, ces systèmes n'ont aucune importance dans la pratique et la concurrence n'existe réellement qu'entre le pont à bascule et le pont tournant.

Les ponts à bascule peuvent se diviser en quatre classes, savoir:

1° Les anciens types, pont-levis, pont système Schenke et pont à axe simple;

2° Les ponts modernes, tels que pont à axe normal et pont perfectionné, système Strauss ;

3° Les ponts sans axe, tels que pont Scherzer, pont Page et pont Cowing ;

4° Systèmes divers qui n'ont pas jusqu'ici été mis en pratique.

*Anciens types.* — Si on laisse de côté les anciens pont-levis, on trouve qu'un des plus vieux exemples de ponts à bascule, est celui de Selby, sur le North Eastern-Ry, en Angleterre, construit en 1839, et qui est encore en service On peut encore citer un pont à Copenhague, datant de 1867 ; le pont de Fijenoord, à Rotterdam, qui a 23 m d'ouverture libre, construit en 1878 ; un pont à Kœnigsberg, en 1880 ; un sur le canal de l'Est en France, en 1892. Le pont du Havre, construit vers 1825, est le prototype de ce qu'on a appelé depuis, en Amérique, système Scherzer.

Le premier pont un peu important, rentrant dans cette classe et construit en Amérique, est celui de la Michigan-Avenue, à Buffalo, qui franchit une ouverture de 23 m en deux travées mobiles, il fonctionne à la vapeur ; on trouve un grand nombre d'ouvrages analogues aux États-Unis, surtout sur les chemins de fer ; ces ponts sont du système Schenke, mais ce système paraît démodé aujourd'hui et il n'en a pas été fait d'application depuis 1896. Nous ne croyons pas devoir nous attarder sur cette classe qui ne présente qu'un intérêt rétrospectif.

*Ponts modernes à axe de rotation.* — Les ouvrages de ce genre comportent une ou deux travées mobiles combinées avec des travéee fixes qu'on appelle approches. Chaque travée mobile est montée sur un axe de rotation et a d'un côté de l'axe une longue branche et de l'autre une courte branche ; la première, dans son déplacement, ouvre et ferme la passe, et la seconde sert à recevoir le contrepoids, à la manœuvre du pont et à la fixation de celui-ci lorsqu'il est fermé. Le contrepoids est naturellement déterminé de façon que le centre de gravité de la travée mobile passe par l'axe de rotation.

Un des exemples les plus remarquables dans cette classe est le Tower-Bridge, à Londres. Il franchit une ouverture de 61 m et la distance entre les deux axes de rotation est de 69,10 m ; la largeur du tablier est de 15 m, dont 10 pour la chaussée et 2,50 pour chacun des deux trottoirs.

Les travées mobiles basculent sur un axe de 0,533 m de diamètre et 15 m de longueur, tournant sur huit coussinets formés de galets en acier de 0,10 m de diamètre et 0,55 m de longueur. Le contrepoids est formé de 290 t de plomb et 75 de fonte logé dans une caisse placée sous le plancher des courtes branches du pont. La manœuvre se fait au moyen de deux secteurs dentés de 12,60 m de diamètre au cercle primitif, un de chaque côté du tablier, avec lesquels engrènent des pignons actionnés par un moteur hydraulique. Il faut cinq ou six minutes pour ouvrir et fermer le pont. On sait qu'il existe à la partie supérieure, à 42 m au-dessus des hautes eaux, une passerelle desservie par des ascenseurs et destinée au passage des piétons lorsque le pont est levé. Or la rapidité de la manœuvre est telle que les piétons, qui mettraient

plus de temps à franchir la passerelle, préfèrent attendre en bas que le pont soit de nouveau en place; aussi l'usage de cette passerelle est-il aujourd'hui tout à fait abandonné.

Le pont a été ouvert au service en juin 1894, il a fonctionné sans interruption à raison de 17 à 20 fois par jour, soit en moyenne 7 200 fois par an. Il y passe en moyenne, par jour, 8 000 véhicules et 60 000 piétons.

On doit faire remarquer ici que dans le Tower-Bridge, les Ingénieurs ont péché par excès de dimensions et de mesures de sécurité, ce qui s'explique en partie par le fait que l'étude en a été entreprise au lendemain de la catastrophe du pont du Tay. Cet excès qui a entrainé une très grosse dépense, a eu cela de bon que depuis l'ouverture les dépenses d'entretien et de réparations ont été nulles; l'ouvrage a coûté 21 millions de francs.

Le premier pont de ce genre, aux États-Unis, a été établi à Milwaukee, où il y en a actuellement quatre autres. L'ouverture franchie est de 30,90 m, la longueur totale est de 72; le tablier a 17 m de largeur, avec une chaussée de 11 m et deux trottoirs. Cet ouvrage a été achevé en juin 1903 et a coûté 750 000 f.

A Chicago, on en trouve un certain nombre de dimensions analogues. et, à New-York, on peut citer le pont sur le Mott Haven Canal; ce dernier est actionné par un moteur électrique qui opère la manœuvre en vingt secondes.

Le système de pont dont nous nous occupons ici est excellent; à beaucoup de points de vue, il est supérieur à tous les autres; il n'a qu'un point faible, mais il l'est sérieusement, c'est la présence du puits ou cuve où plonge la travée arrière.

Ce puits ne peut jamais être rendu complètement étanche et il faut prévoir les moyens de le vider; de plus la maçonnerie, entre la cuve et le cours d'eau, doit être faite très massive pour résister à la poussée de l'eau; tout cela se traduit par des dépenses relativement élevées pour la substructure.

*Système perfectionné de Strauss.* — Ce système diffère du précédent par la nature et la position du contrepoids étudiées en vue de suprimer la cuve.

Le contrepoids peut être disposé de deux manières ou sous le tablier ou au-dessus. Dans le premier cas, le bras de levier de contrepoids est réduit de telle sorte que sa longueur ne dépasse pas la hauteur des poutres soutenant le tablier à la partie de l'articulation, laquelle est placée en haut de ces poutres; il résulte de cette disposition que le contrepoids, dans sa position extrême, n'atteint jamais le niveau de l'eau. Une conséquence est que le contrepoids doit être fait très lourd pour compenser la réduction du bras de levier; celui-ci ayant, par exemple. 5.25 m, le contrepoids est formé par un bloc de béton de 175 m³. L'auteur décrit l'application de ce système dont il est l'inventeur à un pont de 51 m d'ouverture totale étudiée pour Chicago.

On peut encore suspendre le contrepoids à la travée arrière au moyen de tiges articulées de manière que le contrepoids ait un déplacement

vertical, mais avec bras de levier variable, suivant la position de la travée avant. Ce système a été appliqué à un pont établi sur la rivière Cuyahoga, pour donner passage au Wabash-Railroad, près de Cleveland (Ohio).

Lorsque le contrepoids est à la partie supérieure, la disposition est sensiblement la même; pour éviter toute chance d'accidents, on s'arrange de manière que le contrepoids, dans sa position la plus basse, reste à 2,50 m environ au-dessus du tablier. Le mémoire n'indique pas d'exemples de cet arrangement. En somme; le système Strauss présente l'avantage d'une dépense relativement faible d'établissement, par suite de la suppression de la cuve, d'une application plus avantageuse du contrepoids et de la possibilité d'employer des formes de poutres plus économiques; le tablier mobile peut aussi être rigoureusement équilibré, ce qui n'est pas toujours possible avec les autres systèmes. Ces avantages sont peut-être légèrement compensés par un surcroit d'entretien dû à la présence d'un certain nombre d'articulations dans la suspension des contrepoids.

*Ponts roulants.* — Dans ce système, le centre de gravité de la partie mobile n'est plus fixe, il se déplace horizontalement dans le mouvement du vantail mobile; on obtient ainsi le même effet d'équilibre qu'avec le pont tournant autour d'un axe.

Dans le système Scherzer, dont le prototype est le pont établi en 1825 au Havre, par Lamblardie, dont on trouvera la description dans l'ouvrage intitulé « Constructions à la mer », par Bouniceau, Paris 1866, et un dessin sur la planche XXI, la partie mobile se termine inférieurement par un segment en forme de quart de cercle qui roule sur un plan horizontal pendant que la travée s'incline.

Un pont de ce système a été établi à Bridgeport, Conn, pour chemin de fer. Il a 24 m d'ouverture et a coûté un million de francs; le rayon des secteurs sur lesquels il tourne est de 6,10 m; ces secteurs forment la continuation des poutres principales; les contrepoids sont en fonte. Il existe des ouvrages du même genre à Crystal Cove, sur la même ligne de chemin de fer et à Statestreet, à Chicago. Ce dernier a 48 m d'ouverture, il a coûté un million de francs et a été ouvert en mars 1903. Enfin, une douzaine de ponts analogues, mais de plus faible ouverture ont été établis à Chicago, par le Sanitory District de cette ville.

En dehors des États-Unis, on peut citer comme spécimen du système Scherzer, le pont de Barking, en Angleterre, qui a été décrit dans le *Génie Civil* du 2 avril 1904, auquel nous renvoyons pour les détails.

On a construit à Chicago un pont du même système, dit Terminal Transfert Railroad Bridge, qui a 14,50 m d'ouverture de plus que le Tower Bridge, à Londres, soit par conséquent 75,50 m; ce pont porte huit voies, mais jusqu'ici on ne s'en est servi que comme pont fixe et les segments, contrepoids et mécanismes n'ont pas été installés.

Le système Scherzer est suffisamment simple et solide, on ne peut lui reprocher que de fatiguer les fondations dans le mouvement de roulement du pont; ce défaut, très sensible pour les grandes ouvertures

l'est bien moins pour les petites, pour lesquelles ce système parait plus approprié.

Les ponts du système Page tournent sur un axe de rotation placé à la base des poutres, le joint entre la partie fixe et la partie mobile est incliné et le dernier passe sous le premier lorsque le pont est ouvert: le contrepoids est incliné lorsque le pont est fermé et horizontal dans l'autre position. On trouve un pont de ce genre à l'Ashland-Avenue, à Chicago; il a 70 m d'ouverture libre; le contrepoids se compose pour chaque vantail, de 170 $m^3$ de béton et 26 t de fonte. La manœuvre s'opère par un moteur électrique de 50 ch pour chacun des vantaux.

Le système Cowing a été proposé pour un pont à Cleveland, Ohio: il s'agissait de franchir une ouverture de 36,7 m. Le principe de ce système consiste à terminer les poutres principales par une partie demi-circulaire qui tourne sur une couronne de 29 rouleaux de 0,25 m de diamètre et 0,40 m de longueur. Cette disposition équivaut à l'emploi d'un axe de rotation. La superstructure en acier devait peser 506 t et le contre poids 740 t. La dépense de construction était évaluée à 650 000 f. Chaque vantail aurait été manœuvré par un moteur électrique de 35 ch agissant sur une vis sans fin. Ce système parait d'une complication inutile et doit donner lieu facilement à des dérangements.

L'auteur passe rapidement en revue pour terminer un certain nombre de systèmes qui n'ont été l'objet d'aucune application pratique, mais dont certains présentent de l'intérêt au point de vue théorique; il entre à ce sujet dans des considérations très développées sur les raisons qui peuvent, suivant les circonstances, militer en faveur de tel ou tel système. Un élément dont il y a lieu de tenir compte d'une manière très sérieuse est la variabilité excessive dans les conditions imposées d'une ville à l'autre. Pour n'en citer qu'un exemple, on peut constater que le Sanitory District estime la pression du vent à 75 kg par mètre carre, la ville de Chicago à 100, celle de Milwaukee à 125 et celle de Copenhague à 155. Il en est de même, mais dans une moindre mesure, pour les surcharges des tabliers des ponts.

**La traversée de la Manche.** — Le Parlement anglais doit s'occuper prochainement d'une question des plus intéressantes dans le domaine des transports; il s'agit en effet de l'établissement d'un service de bateaux porte-trains entre Douvres et Calais. Nous trouvons des considérations sur ce sujet dans le *Transport and Railroad Gazette* qu'il nous parait utile de reproduire.

Le projet consiste dans la construction de grands bateaux pouvant contenir un train entier, soit de voitures à voyageurs, soit de wagons à marchandises, et l'établissement sur les deux côtés du détroit de bassins spéciaux pour recevoir ces bateaux, lesdits bassins étant munis d'élévateurs électriques pour que, quel que soit l'état de la marée, les trains puissent être amenés sur les ponts des navires et en être sortis.

On invoque à l'appui de ce projet des avantages de diverses natures. Les voyageurs y trouveront un gain de temps et plus de confort; les retards amenés par le transbordement des bagages du train au bateau et *vice versa* seront supprimés; la traversée sera accélérée par l'emploi

de vapeurs à turbines réalisant des vitesses de 22 à 23 nœuds et, sur des bateaux dont le tonnage devra être nécessairement assez considérable pour recevoir des trains, le mal de mer sera presque complètement supprimé; les voyageurs n'auront plus l'ennui de passer du chemin de fer au bateau sur des quais sans abri exposés à la pluie et au vent; enfin ils pourront faire le trajet de Paris à Londres et inversement sans transbordement, de sorte que, montant le soir à Londres dans un sleeping car, ils en descendront le lendemain matin à Paris ou continueront par un train de luxe sur la Riviera ou Rome ou Vienne, etc., sans changer de voiture, comme s'ils traversaient le Continent Américain.

Pour les marchandises, on évitera les retards, avaries et frais résultant du transbordement inévitable actuel; on peut espérer que, par ces avantages, le trafic actuel sera accéléré et fait à meilleur marché, mais surtout qu'il se développera par les facilités nouvelles qui lui seront offertes; certaines marchandises ne passent pas actuellement le détroit, parce que le commerce trouve trop de risque à en faire l'expédition en présence du système actuel de transport avec transbordement.

On peut ajouter qu'au moment où la prochaine ouverture de la ligne du Simplon peut amener de sérieuses modifications dans les courants commerciaux du Continent, l'amélioration des communications entre la France et l'Angleterre peut devenir un atout considérable dans la question.

On est étonné de voir combien il a été peu fait pour améliorer la traversée du détroit. Les bateaux actuels sont, on doit le reconnaître, plus grands et plus confortables que ceux qui ont rendu légendaires « les horreurs du passage » et leur vitesse est de 6 milles environ supérieur à celle de ceux-ci; mais c'est tout. Les voyageurs passent encore aujourd'hui sur des quais sans abri et le départ des bateaux et des trains est toujours retardé par le transbordement des bagages et des malles au moyen des moyens les plus primitifs au point qu'on peut se demander si, tant que durera le système actuel, il y a possibilité d'apporter quelque amélioration. Il semble qu'un changement radical est devenu nécessaire.

Ce n'est pas d'hier seulement que cette idée s'est présentée. Il y a déjà cent ans que la construction d'un tunnel a été proposée, et si on faisait quelques recherches dans les faits du siècle dernier, on serait étonné de voir combien de temps et de travail a été consacré à l'étude de moyens matériels de communication entre la France et l'Angleterre. Tous ces moyens se divisent en trois classes : tunnels, ponts et bateaux porte-trains; les deux premières classes ont fait l'objet d'études très sérieuses.

Il n'est pas douteux qu'un pont ne soit parfaitement réalisable, au point de vue technique; les autorités éminentes qui s'en sont occupées tant en France qu'en Angleterre sont une garantie suffisante à ce point de vue, mais il y a d'autres difficultés que celles qui touchent à la question technique. Ainsi, sans parler de l'énormité de la dépense qui ne serait pas loin de 750 millions de francs, une construction de ce genre, établie en travers du Détroit, ne serait pas sans apporter une gêne considérable à la navigation qui est très importante dans cet endroit. Les précautions apportées à ce sujet sous forme d'éclairage et de signaux de

brume ne suffiraient pas à répondre aux objections de la marine contre une semblable obstruction.

La question du tunnel a été portée devant le Parlement dès 1883, où deux bills ont été présentés, l'un par Sir Edward Watkin, et l'autre par Lord Richard Grosvenor. Les Ingénieurs n'étaient pas d'accord sur la possibilité de réalisation de l'ouvrage; tandis que Sir John Hawkshaw et Sir Frederick Bramwell manifestaient une entière confiance dans le succès, Sir John Fowler regardait le projet comme très chanceux et rentrant plutôt dans la catégorie des entreprises hasardeuses que dans celle des travaux courants.

Le « Select Committee » des deux Chambres du Parlement chargé de l'enquête entendit de nombreuses dépositions, dont la plupart étaient favorables, mais néanmoins il crut devoir faire un rapport contraire à l'idée d'une communication avec la France, se basant principalement sur le danger qui en résulterait pour l'Angleterre privée désormais des avantages de sa position isolée la protégeant contre des risques d'invasion.

La troisième solution, les bateaux porte-trains, vint devant le Parlement en 1870 et de nouveau en 1872; cette seconde fois, elle fut admise par la Chambre des Communes mais fut rejetée par la Chambre des Lords, grâce à l'opposition du Président de la Commission. Le projet présenté à cette époque était, en principe, le même que celui d'aujourd'hui, et il reçut l'approbation entière de Sir John Fowler, l'adversaire du tunnel. Ce fait est d'autant plus significatif qu'à cette époque, on ne possédait pas l'expérience acquise sur la Baltique et sur les Grands Lacs d'Amérique laquelle fait voir que les bateaux porte-trains peuvent naviguer en parfaite sécurité par de grosses mers. Un navire de ce genre traversant le Détroit n'entraine aucune gêne pour la navigation et ne donne pas lieu aux objections basées sur la question politique auxquelles prête un ouvrage matériel de communication, pont ou tunnel; il remplit en somme le même but en réalisant en même temps une amélioration très réelle sur les moyens actuels. On peut considérer le bateau porte-train comme une sorte de chemin de fer mobile qui prolonge les deux lignes française et anglaise et permet aux trains de parcourir la distance entière sans rupture de charge. La dépense d'établissement est d'ailleurs bien moindre que celle d'un ouvrage fixe: Sir Edward Watkin avait estimé le coût du tunnel à 75 millions de francs sans compter les ouvrages de raccordement aux deux extrémités. Sir John Hawkshaw, probablement plus compétent sur la question, évaluait le prix à 200 millions. Sir John Fowler calculait le prix d'établissement d'un service de bateaux porte-trains, avec les aménagements nécessaires dans les deux ports, à 50 millions de francs, mais, depuis les travaux qui ont été effectués plus récemment dans les ports des deux pays, on est en droit de supposer que la dépense pourrait être réduite à la moitié ou à peu près. Il faudrait dès lors, de bien moindres recettes nettes pour rendre l'entreprise rémunératrice que dans le cas du tunnel. Il est, d'ailleurs, une remarque à faire. Il existe dans le cas de la solution qui nous occupe un élément d'élasticité et d'économie qui ne se présente pas dans les deux autres; ainsi la totalité de la dépense doit être faite

pour ceux-ci pour que l'ouvrage puisse servir, tandis que l'exploitation des bateaux peut débuter sur une petite échelle et se développer à mesure que le trafic augmentera, de sorte qu'on peut, dans une certaine mesure, éviter des dépenses improductives.

Sir John Fowler admettait que cette méthode de communication pouvait s'accommoder à n'importe quelle étendue de trafic entre la France et l'Angleterre.

Cette hypothèse parait justifiée si l'on considère que le nombre des paquebots faisant le service du Détroit s'est accru, depuis cette époque, dans une grande proportion, et que le nombre des places de débarquement a doublé et triplé, ces augmentations s'étant faites avec des dépenses insignifiantes, en comparaison de celles de l'établissement d'un pont ou d'un tunnel. Quoi qu'il en soit, il ne semble pas douteux qu'on puisse faire face, avec des bateaux porte-trains, à tout le trafic qui existe actuellement entre Douvres et Folkestone et le Continent. Il semble donc raisonnable d'accepter volontiers un projet qui permet de réaliser immédiatement une très grande amélioration dans la traversée du Détroit, sans chercher à attendre la réalisation de systèmes plus ambitieux, tels que tunnel ou pont, réalisation qu'aucun symptôme n'indique être bien proche. Cette manière de voir n'est autre que celle que Sir John Fowler formulait en 1883 en ces termes : « Tirer du transport par eau tout ce qu'il est susceptible de donner avant de songer sérieusement à faire un tunnel sous la Manche. ».

On remarquera que, dans ce qui précède, il n'est parlé que de ce qui a été fait dans la question du côté anglais ; il ne faudrait pas croire qu'à l'époque dont il a été question plus haut on se soit désintéressé en France de ce sujet. Dupuy de Lôme y a été mêlé très directement, et nous nous souvenons d'avoir vu, il y a longtemps, dans les bureaux de M. Mazeline, au Havre, un modèle d'un bateau porte-train étudié pour le passage du Détroit.

**Les turbines à vapeur.** — L'*Engineering Record* donne d'intéressants détails sur la question actuelle des turbines à vapeur dans la pratique européenne.

La plus faible consommation constatée récemment sur des appareils de ce genre parait être de 4,13 kg de vapeur par cheval-heure ; mais ce chiffre ne comprend pas le travail correspondant à la mise en marche de la pompe à air du condenseur, travail qui ne dépasse pas, en général, 5 0/0 ; on arriverait donc à 4,39 kg.

La plus basse consommation pour des machines alternatives, y compris le travail de la pompe à air, est de 4,26 kg, chiffre constaté sur des machines de stations centrales de tramways, à la fois à Vienne et à Berlin.

Bien qu'il y ait une demi-douzaine de types différents de turbines à vapeur en usage en Europe, c'est le type Brown-Boveri-Parsons qui est le plus employé, car on le trouve dans plus de 150 installations réparties dans toute l'Europe.

Le développement rapide de l'emploi de la turbine à vapeur, dans les cinq dernières années, est dû, dans une large mesure, au succès qu'elle

a eu à la station municipale d'Elberfeld pour l'exploitation du chemin de fer suspendu établi entre cette ville et Barmen. Cette station comporte deux turbines Parsons, de 1 000 kilowatts, qui, dès leur installation, réalisaient une consommation de vapeur de 5,57 kg par cheval heure pour l'une, et de 5,48 kg pour l'autre, soit 5,52 kg en moyenne.

La turbine à vapeur, de même que la machine alternative, peut fonctionner avec ou sans condensation, et, dans le premier cas, avec condenseur à jet, condenseur à surface, condenseur à siphon ou condensation centrale. Comme il n'y a pas d'huile présente dans l'intérieur des turbines, l'eau de condensation peut être employée directement à l'alimentation des chaudières, sans qu'il soit besoin de la filtrer, ce qui lui fait perdre une certaine quantité de calorique. L'absence d'huile dans la vapeur condensée est un avantage sérieux lorsqu'on se sert de condenseurs à surface, parce que l'eau d'alimentation provenant de la condensation de la vapeur est pure de toute matière étrangère. C'est pour cette raison que la condensation par surface est particulièrement indiquée pour les turbines à vapeur.

En général, dans la pratique européenne, les pompes des appareils de condensation sont actionnées par des moteurs électriques. Il n'en est pas de même en Amérique.

La turbine se prête beaucoup mieux que la machine alternative à l'emploi de la surchauffe, à cause de l'absence de pistons, tiroirs, presse-étoupes, et aussi de graissage. Comme l'avantage économique dû à la surchauffe croît avec le degré de cette surchauffe, il n'y a, pour ainsi dire, pas de limite à son taux avec les turbines.

Comme on l'a vu plus haut, la consommation de vapeur des turbines descend aussi bas que celle des meilleures machines alternatives construites jusqu'ici. Le tableau ci-joint donne la dépense de vapeur des turbines Parsons construites par Brown-Boveri et C[ie], de Baden (Suisse), et installées dans divers pays. Toutes ces turbines marchent à condensation, et leur consommation comprend celle des appareils auxiliaires, sauf dans les cas marqués d'une astérisque. La plupart fonctionnent avec de la vapeur surchauffée, les autres se reconnaissent à ce qu'il n'y a pas de chiffre indiqué à la colonne des températures. On voit, dans ce tableau, la décroissance de la consommation avec l'accroissement de la température; on peut juger, par ces résultats, qu'il est vraisemblable que, pour les turbines à vapeur de 10 000 ch actuellement en construction dans la maison précitée, la consommation de vapeur par cheval-heure pourra s'abaisser à 4 kg et même moins.

Si l'on compare les résultats des essais faits sur des turbines à vapeur avec ceux opérés sur des machines alternatives, il ne faut pas oublier que, dans ces dernières, on doit prendre des précautions préalables pour mettre les machines en état, et que les résultats obtenus ne se retrouvent généralement pas en pratique courante, tandis que l'expérience a prouvé que les turbines n'étaient pas, pour ainsi dire, sujettes à usure, les résultats obtenus sans la moindre préparation se retrouvant plusieurs années après.

Comme exemple de la durée et du peu d'usure des turbines, on peut citer le cas d'un appareil de ce genre, de 500 ch, installé à la Carlshütte,

| DÉSIGNATION | PUISSANCE | PUISSANCE | PRESSION ABSOLUE de la vapeur | TEMPÉRATURE | CONSOMMATION DE VAPEUR par cheval-heure |
|---|---|---|---|---|---|
| | kilowatts | chevaux | kilogr. | degrés centigr. | kilogr. |
| Installations frigorifiques à Berlin | 100 | 133 | 9 | 183 | 7,06 |
| Station d'électricité à Coire | 200 | 267 | 13 | 240 | 6.16 |
| Arsenal de la marine française | 280 | 420 | 15 | — | 6,25 |
| Norddeutscher Llyod à Brême | 300 | 400 | 10 | — | 6,34 |
| Tramway de Linz en Suisse | 300 | 400 | 9 | — | 6.48 |
| Fabrique de cellulose à Villach | 330 | 467 | 12 | 250 | 5,48 |
| Laminoirs à la Antonienhütte | 400 | 533 | 7,5 | — | 5,90 |
| Arsenal de Kiel | 400 | 533 | 9 | — | 5,90 |
| Filature à Colmar | 400 | 533 | 12 | 230 | 5,30 |
| Mine et briqueterie à Tschupeln | 400 | 533 | 7,5 | 210 | 6,00 |
| Forges et aciéries à Thionville | 450 | 600 | 8 | 250 | 5,34 |
| — — à Hösch | 500 | 667 | 7,5 | 233 | 5,66 |
| Schlieper et Baum à Elberfeld | 500 | 667 | 10 | 250 | 5,25 |
| Établissements municipaux à Francfort | 3 000 | 4 000 | 12 | 300 | 4,12 |

à Thionville, lequel a fonctionné pendant 5 800 heures consécutives, avec un seul arrêt de 10 minutes. La turbine a été ensuite démontée et examinée avec attention, sans qu'on ait pu constater la moindre trace d'usure.

Si l'on compare les résultats donnés par les turbines avec ceux des machines alternatives, il faut tenir compte, non seulement de la consommation de combustible, mais aussi de la dépense de graissage et de l'entretien et des réparations. La Société bavaroise de surveillance des appareils à vapeur, à la suite de recherches sur ce sujet, a constaté que, dans les machines à double et triple expansion de 100 à 500 ch, la consommation de matières grasses est, par cheval-heure, de 2 g environ, coûtant 0,07 f. Dans les turbines Parsons, cette consommation est presque insignifiante par comparaison ; de 0,1 à 0,3 g par cheval-heure pour des moteurs de 100 à 1 500 ch. On peut admettre qu'avec les machines alternatives la dépense de graissage est de 7 à 15 0/0 de la dépense de combustible, tandis qu'avec les turbines Parsons elle est seulement de 0,5 à 1 0/0 de la dépense de combustible.

Les turbines sont susceptibles d'une beaucoup plus grande élasticité de puissance que les machines alternatives : il suffit, en effet, de manœuvrer une soupape auxiliaire pour faire passer la vapeur vive dans la chambre à basse pression de la turbine, et accroître dans une large mesure la puissance. Cette soupape sert également dans le cas d'une avarie à l'appareil de condensation, pour compenser la réduction de puissance due à cette avarie ; le fonctionnement est seulement moins économique dans ce cas.

**Les forêts de la Californie.** — On estime que la Californie a 110 millions d'hectares, soit un cinquième de sa superficie, en forêts. Une partie de ces forêts est constituée par des essences de valeur, et, avec un aménagement convenable, présentera de plus en plus d'énormes ressources pour la fourniture des bois de construction et autres. Mais, en Californie surtout, l'utilité des forêts ne réside pas seulement dans la production du bois, elle a un rôle peut-être plus important encore, la conservation des eaux. En effet, le développement extraordinaire de l'agriculture, que permet l'irrigation, est le fait le plus considérable qui se soit produit dans l'histoire économique de la Californie.

Le besoin impérieux d'eau, d'une part, et la crainte des inondations, de l'autre, ont depuis longtemps disposé le sentiment public en faveur de la protection des forêts, et la Californie s'est toujours montrée, sous ce rapport, en avant des autres États de l'Union ; comme l'a reconnu publiquement le Président Cleveland, en 1897, lors de l'établissement des treize réserves forestières fédérales. On sait que, dans certains États de l'ouest, l'opposition à cette mesure fut tellement violente qu'on dût en suspendre quelque temps l'application, tandis qu'elle fut très favorablement accueillie en Californie, où l'opinion publique était depuis longtems disposée en faveur de cette protection.

Presque un tiers de la superficie boisée de cet État est actuellement comprise dans les réserves. Il reste en dehors environ 8 millions d'hectares, et, pour que cette étendue puisse servir aux intérêts publics dans

la plus large mesure possible, l'État s'est assuré la coopération du Bureau forestier des États-Unis pour mettre en vigueur des règlements relatifs à l'exploitation forestière. Des membres de cette administration ont, depuis 1903, visité près de 10 millions d'hectares de forêts et landes plus ou moins boisées, et la visite complète de la superficie occupée par les forêts sera prochainement terminée. Les différentes variétés. telles que : terrains boisés, terres à pâturages, terres défrichées par le feu. terres à cultures, etc., seront reportées sur des cartes; et l'estimation sommaire du bois existant dans chaçun sera indiqué. On s'appliquera même à augmenter l'étendue des réserves forestières, toutes les fois qu'on trouvera des terrains propres pour cet objet.

La question capitale dans ce sujet est la prévention et la localisation des incendies de forêts. Le Bureau compétent a eu une excellente occasion de s'éclairer à cet égard en se mettant en rapport avec un propriétaire qui, possédant 30 000 ha de bois d'un seul tenant, avait introduit un système grossier de protection contre l'incendie; on dressa un plan et un programme et on mit les dispositions préventives à exécution. Bien que le résultat ne porte pas encore sur un espace de temps suffisant, on peut affirmer qu'il est très favorable. La surveillance est beaucoup plus facile et plus effective et les propriétaires voisins donnent communication spontanément des feux qui se produisent soit chez eux soit en dehors. Or il n'y en a pas eu de sérieux depuis l'organisation du service. Il semble que ce soit là une indication de l'efficacité d'un système consistant à surveiller attentivement les forêts et à combattre les incendies dès leur apparition. Les lois actuellement en vigueur dans l'État pour les incendies de forêts sont insuffisantes et une des conséquences des travaux faits par le Bureau sera la proposition relative au sujet d'une loi qui sera cerainement, si elle passe, une des plus utiles qui auront été jamais faites.

Un fait encourageant est la tendance manifeste des propriétaires de forêts de s'assurer le concours de forestiers pour l'aménagement des bois et pour leur exploitation. L'utilité de cette mesure n'est pas à démontrer: elle assurera des méthodes moins dévastatrices que celles dont on se sert actuellement et permettra d'obtenir une meilleure protection et un développement croissant de la production. Un contrôle compétent est de nature à apporter la solution d'une question délicate, celle du meilleur moyen de se débarrasser des débris provenant de l'abatage des arbres, débris qui sont une menace permanente dans les forêts. On a déjà fait des expériences sur la destruction de ces débris par le feu, ces expériences faites par les soins du Bureau ont donné de bons résultats.

Les agents de cette administration étudient également le mode de croissance de certaines essences qui produisent des matières utiles telles que le sucre ou la résine pour voir si on ne pourrait pas arriver à leur faire donner une seconde récolte. Les constatations sur le terrain sont actuellement complètes et le rapport sur la question pourra bientôt être publié.

Un point qui a également fait l'objet des études de l'administration est la reproduction naturelle des arbres des forêts et le taux de croissance des jeunes sujets; ce sont des questions qui ont le plus grand intérêt au point de vue des richesses forestières. Tout État qui possède

d'importantes superficies boisées en un climat qui exige beaucoup d'eau pour l'agriculture ou l'élevage doit se préoccuper d'adopter une police forestière bien définie et bien conçue. Il faut donc espérer que les autres États de l'Union qui se trouvent dans ces conditions suivront l'exemple de la Californie pour éviter de voir l'avenir de leurs forêts et les intérêts de l'agriculture sérieusement compromis.

Le journal américain dans lequel nous trouvons les renseignements qui précèdent, résumés d'un rapport officiel, donne, à titre de contraste avec les méthodes récentes de surveillance et de contrôle des forêts l'amusante anecdote suivante qui montre les vieilles pratiques trop souvent employées dans les questions forestières.

Un des plus terribles incendies de forêts qu'on ait jamais vu dans l'État du Maino fut allumé, on pourrait dire administrativement, en 1826, dans un but de protection, on a quelque peine à le croire. A cette époque, les forêts étaient la propriété de l'État et certaines régions plantées en essences de valeur étaient infestées par les voleurs de bois qui y venaient au printemps, coupaient l'herbe des clairières pour nourrir leurs bestiaux pendant l'hiver et abattaient les plus beaux arbres. Les autorités s'émurent de cet état de choses et, pour y mettre ordre, envoyèrent un agent pour mettre le feu aux herbes qui étaient le prétexte de ces déprédations. Celui-ci profita d'une belle journée d'août où les herbes étaient déjà sèches. Le résultat fut que le feu se communiqua à la forêt sur des kilomètres entiers. L'agent, qui s'appelait Jim Chase (l'histoire a conservé son nom) eut beaucoup de peine à atteindre, après une course longue et précipitée et à moitié grillé, un pic dénudé où il trouva un refuge, mais où il dut rester une dizaine de jours, vivant de ce qu'il pu trouver. Au bout de ce temps, une forte pluie tomba et lui permit de regagner un endroit habité. Les constatations firent voir que l'incendie avait détruit à peu près 50 000 ha de forêts superbes. Si les voleurs de bois avaient été laissés libres d'exercer leur industrie depuis 1826 jusqu'à nos jours, ils n'auraient certainement pas fait la moitié du dégât qu'a produit le feu de joie dû à une mesure administrative aussi énergique qu'imprudente et dont on parle encore aujourd'hui dans le Maine.

Aux réserves forestières nationales situées aux États-Unis sont venues s'en ajouter récemment d'autres très importantes, celles de Porto Rico. Un arrêté du Président, en date de janvier 1903, a créé celle de Luquillo qui comprend 25 000 ha et qui est située dans la partie la plus montagneuse de l'île où l'altitude s'élève parfois jusqu'à plus de 1 000 m. Cette région paraît être peu connue même des indigènes.

Ces forêts appartenaient au Gouvernement espagnol et on ne s'était jamais préoccupé d'en lever le plan ni de les délimiter. Aussi n'est-il pas étonnant que les voisins aient cherché à étendre leur propriété en déboisant peu à peu autour de leurs terrains. Mais ces déprédations n'ont pas eu d'importance sérieuse vu les difficultés des transports d'une part et, de l'autre, la vivacité de la végétation dans un climat tropical.

L'établissement de ces réserves présente un très grand intérêt au point de vue de la régularisation de cours d'eau tels que la Loiza, le plus grand de l'île; sa vallée borde un massif montagneux dont le pic culminant, El Junque, s'élève à 1 200 m d'altitude. Par le vent d'ouest, les

versants de ces montagnes subissent d'énormes chutes de pluie; en 1902, on a constaté une chute totale de 3,80 m pour l'année. Ces pluies sont très fréquentes et alternent avec des périodes de soleil brûlant, ce qui amène des fluctuations violentes du régime des cours d'eau et par conséquent des crues subites suivies de dessèchement presque complet du lit. C'est pour éviter ces fluctuations que l'établissement des réserves comme celle de Luquillo peut rendre les plus grands services. La forêt peut même, dans une certaine mesure, être utile à l'agriculture et rendant moins inégales les conditions climatériques qui varient d'un endroit à l'autre. On voit, par exemple, certaines parties presque toujours humides tandis que d'autres, à peine à une demi-journée de distance, ont besoin d'irrigation artificielle. Mais l'avantage le plus immédiat est dans la suppression ou, tout au moins, la réduction des crues torrentielles dont les dommages se traduisent par des ponts emportés, des routes détruites, des fermes et pâturages ruinés sans compter de nombreuses vies sacrifiées. A côté de ces avantages de premier intérêt, la question de la valeur des réserves comme production de bois est un peu secondaire, néanmoins les forêts de Porto Rico présentent, dans certaines parties des essences de valeurs parmi lesquelles le tabanuco qui ressemble au sycomore, le laurel sabino, sorte de peuplier, le cansubo, comparable au noyer et le guaraguao, qui ressemble au cèdre rouge ; ces arbres arrivent à de grandes dimensions, 0,60 à 1,50 m de diamètre. Le tabanuco produit une gomme susceptible de devenir un article de commerce important. Ces forêts ont un caractère particulier; la végétation y croit très activement sous l'influence du climat, le sol est couvert d'herbes touffues dont certaines atteignent 1,50 m de hauteur et sont tranchantes comme des rasoirs; d'autres plantes, en forme de palmes atteignent 12 m de hauteur, elles se reproduisent avec une extrême facilité et rendent les clairières tout à fait inabordables.

Déjà à 600 m d'altitude les arbres n'ont plus la même vigueur et deviennent rabougris, et leurs racines apparentes se couvrent de mousse. Dans ces parties, le bois n'a plus de valeur commerciale mais il conserve toute son utilité comme protection. Le Département de l'Agriculture, à Washington s'occupe de la publication d'un ouvrage relatif à la question des forêts à Porto Rico; on y trouvera des renseignements d'un haut intérêt sur la flore de cette île qui est presque inconnue et sur la botanique des tropiques.

**Application de l'air liquide.** — Dès 1684, Bayle a indiqué la propriété que possède le charbon de bois pour l'absorption des corps Cent ans plus tard, un chimiste italien fit des expériences sur l'absorption des gaz par le charbon et d'autres, tels que Priestley reconnurent qu'il décolorait les liquides, de là est venu l'usage de ce corps pour la filtration.

Le professeur Dewar a constaté que le pouvoir absorbant du charbon croit avec l'abaissement de la température. Il a reconnu qu'aux températures très basses qu'on obtient par l'évaporation de l'air ou de l'hydrogène liquides, le charbon absorbe l'air ou les gaz dans lesquels il se trouve, avec une telle activité, qu'il se produit un vide très complet.

On peut s'en rendre compte au moyen du radiomètre de Crookes. On sait qu'il y a une trentaine d'années Sir William Crookes fit voir qu'un moulinet très délicat tournait dans le vide lorsque la lumière venait à frapper le côté noirci de ses ailettes.

Si on prend un radiomètre dont l'ampoule contient de l'air et qu'on mette cette ampoule en communication avec du charbon de bois amené à la température de — 180° C. l'absorption de l'air par le charbon produit un vide presque absolu et le moulinet se met à tourner rapidement.

Dans une autre expérience, on place du phosphore dans une ampoule placée au-dessus d'une autre remplie d'oxygène, les deux corps étant bien secs. Si on met l'oxygène en contact avec du charbon refroidi par de l'air liquide, le phosphore se volatilise, se combine avec l'oxygène et l'ampoule devient lumineuse, ce qui montre qu'à la température de l'air liquide les corps peuvent entrer en combinaison sans la présence d'humidité.

Enfin le professeur Dewar prend un radiomètre contenant de l'hélium et fait voir que le charbon refroidi par l'air liquide ne montre aucune action sur ce corps ; mais, s'il plonge du charbon dans l'hydrogène liquide à la température de 20° C. au-dessus du zéro absolu, c'est-à-dire 20 degrés au-dessus du point où il ne doit plus exister de chaleur, l'hélium, est absorbé instantanément par le charbon, le vide se produit et le moulinet du radiomètre se met à tourner. On peut admettre qu'il y a là un nouvel instrument de recherches et un nouveau moyen de séparer de l'air les corps gazeux rares découverts depuis quelques années. l'argon, l'hélium, le neon, le xenon et le crypton.

---

# COMPTES RENDUS

## SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MARS 1905.

Rapport de M. DILIGEON sur **le carburateur Claudel à pétrole lourd ou lampant.**

L'emploi des pétroles lourds ou lampants dans les moteurs à explosion est une solution qui tend à s'imposer, mais il faut pour cela des carburateurs spéciaux à cause de la faible volatilité de la matière.

Le carburateur Claudel a pour but de réaliser ce desideratum en gazéifiant le liquide avant son entrée au cylindre, de sorte qu'aucune condensation ne soit possible et, pour prévenir la formation du coke produit par une dissociation partielle du pétrole, il fait pénétrer dans la cornue, en même temps que le liquide, une faible quantité d'air dont l'oxygène transforme le carbone naissant en oxyde de carbone qui brûlera lui-même plus tard dans le cylindre au contact d'une nouvelle quantité d'air ambiant.

Ce carburateur est simple, facile et économique de construction, et s'applique aisément sur les moteurs existants. On arrive à dépenser par cheval la même quantité de pétrole lampant que d'essence, et comme le premier est notablement moins cher, il y a une économie évidente et très sensible.

**La mécanique en 1904,** par M. G. RICHARD.

L'auteur passe en revue un grand nombre de sujets tels que chaudières, machines à vapeur, condensations centrales et tours de refroidissement, turbines à vapeur, moteurs à gaz, gazogènes, turbines à gaz, locomotives, machines-outils, machines frigorifiques, appareils de levage et de manutention.

**Explosion d'une chaudière de locomotive,** par M. Ch. [F]REMONT.

[I]l s'agit de la chaudière qui fit explosion le 4 juillet 1904 aux abords de [la g]are Saint-Lazare.

[M]. Fremont a d'abord cherché à préciser l'emplacement de l'avarie [init]iale et, en se servant des débris de la chaudière et en tenant compte [de l]a direction des projections de débris, il conclut que la rupture ini[tial]e s'est effectuée au milieu de la hanche et du flanc gauche de la boîte [à feu]. Une fissure initiale a été la cause primitive et, de là, est partie [la] déchirure qui a amené l'ouverture de la chaudière et une sortie

brusque de vapeur ; la pression intérieure n'est pas tombée brusquement et la chaudière s'est morcelée d'une manière générale.

La fissure initiale a été amenée par les efforts répétés produits par le mouvement de soufflet existant dans cette partie par suite de dilatation et de contraction. En résumé, la cause première de l'explosion est due à la fragilité relative du métal qui n'a pu résister à ces effets.

**Notes de chimie**, par M. Jules Garçon.

Les questions traitées ici sont celles des colloïdes, ferments métalliques, cotons artificiels, applications du vanadium en impression, chlorophylle de géranium, bronze, coloration des vitres anciennes, antidote du cyanure de potassium, etc.

**Notes de mécanique.** — Nous trouvons dans ces notes une étude sur l'appareil Schilck pour l'enregistrement des vibrations des navires, la description de la perforatrice Brandt, une note sur le rendement des transmissions de force, une sur la condensation centrale des usines de Neuves-Maisons et sur les explosions dans les tuyaux et réservoirs de compresseurs d'air, etc.

---

## ANNALES DES MINES

---

*12e livraison de 1904.*

**Revue périodique des accidents d'appareils à vapeur,** par M. C. Walckenaer, Ingénieur en chef des Mines (*deuxième article*).

L'auteur examine d'abord les explosions de locomotives qui sont, en somme, très rares, car la moyenne donne 2,28 accidents et 0,28 morts par 10.000 locomotives et par an pour la France, on peut dire que, pour l'ensemble des seize dernières années, la proportion des morts par suite de ce genre d'accidents n'a été que le dixième de ce qu'elle avait été de 1850 à 1859. Ce chiffre est d'ailleurs très favorable si on le rapproche de celui qui concerne les appareils à vapeur de l'industrie française pour lesquels on trouve pour les seize années 1888-1903 une proportion de 2,9 accidents et 1,8 morts par 10 000 appareils et par an.

Le mémoire donne des détails et entre dans des considérations développées sur un certain nombre d'accidents survenus à des chaudières de locomotives. Il étudie ensuite les explosions de locomobiles batteuses. La moyenne pour les vingt dernières années ressort à deux morts par an, mais il est très difficile de rapporter ce nombre à celui des appareils parce que la statistique officielle ne donne pas spécialement le nombre des locomobiles batteuses, mais seulement celui de ces machines employées dans les industries agricoles. On peut toutefois admettre que si ces machines semblent être moins meurtrières que la moyenne des chaudières, elles le sont beaucoup plus à force égale et aussi à temps

égal de service ; c'est même le peu de temps qu'elles fonctionnent dans l'année qui est une de leurs causes de faiblesse, parce qu'elles sont généralement, à la fin de la campagne, remisées sans surveillance ni réparations convenables. De plus, certaines, de construction ancienne, ont des formes très peu rationnelles et elles sont souvent conduites sans les précautions nécessaires. Ainsi, sur 45 accidents, on en trouve 22, soit la moitié, imputables à la vétusté ou à un mauvais entretien, 4 à des vices de construction, 4 à un excès de pression, 7 au manque d'eau et enfin 8 à des causes diverses.

Le mémoire décrit un certain nombre d'accidents arrivés aux chaudières des appareils de ce genre et indique sommairement quelques améliorations qu'il serait facile d'y introduire. L'auteur pense d'ailleurs que la solution du problème doit être cherchée dans la substitution à la machine à vapeur du moteur à combustion intérieure qui, tout en réalisant une certaine économie, surtout d'eau, assure une sécurité beaucoup plus complète, ce moteur étant pratiquement exempt du danger d'explosion.

Discours prononcé aux **funérailles de M. Léopold Babu**, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École supérieure des Mines, le 1er décembre 1904, par M. Ad. Carnot, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des Mines.

**Bulletin des accidents d'appareils à vapeur** survenus pendant l'année 1903.

Le nombre des accidents a été de 32, ils ont amené la mort de 16 personnes et causé des blessures à 31 autres. Sur le nombre des accidents, on en trouve 5 sur des chaudières non tubulaires, 13 sur des chaudières à tubes de fumée, 7 à des chaudières à tubes d'eau et 7 à des réchauffeurs, récipients, etc.

On a attribué 8 accidents à des conditions défectueuses d'établissement, 19 à des conditions défectueuses d'entretien, 7 à un mauvais état des appareils et enfin 4 à des causes non précisées. Le nombre des causes est supérieur, comme on voit, à celui des accidents, parce que, dans divers cas, l'accident a été porté comme dû à deux causes.

---

## SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

---

### Mars 1905.

#### District de Saint-Étienne.

*Réunion du 18 mars 1905.*

Communication de M. Lemière sur **la formation et la recherche des combustibles fossiles.**

L'auteur explique l'action des ferments sur les tissus végétaux, action qui a amené la transformation des derniers en combustibles ; ainsi,

sous l'action des végétations adventives, le combustible déjà formé s'est modifié selon la nature de ces végétations ; les algues ont donné les bog-hoads, les pollens les cannel-coals, les matières organiques les schistes bitumineux. Pendant ces actions, s'il s'est dégagé des liquides, ils ont formé les pétroles et les asphaltes.

La note entre dans des considérations développées sur la stratification, la nature des sédiments qui diffèrent selon que leur densité leur permet de se déposer dans une eau courante ou seulement dans une eau tranquille. Elle explique que les couches de houille se sont formées par suite d'inondations successives sujettes à des abaissements et à des recrudescences qui expliquent les intercalations stériles, les lits différents d'une même couche ; elles ont épousé la forme des talus préexistants et en ont subi toutes les vicissitudes. Toutes les formations sont allochtones, seules les tourbières sont des formations autochtones d'un genre particulier.

L'auteur applique les théories précédentes au bassin de la Loire et au bassin franco-belge, et fait voir comment ces bassins se sont formés.

Communication de M. Courtin sur **l'évite-molettes à frein progressif, système P. Fayol.**

Cet appareil a pour objet d'empêcher, dans les puits de mines, la montée des cages aux molettes, le faux départ au jour et la chute brusque de la cage sur les taquets du fond. Il est basé sur l'emploi du frein à serrage progressif, mis en action lorsque la cage, en arrivant près du jour, a une vitesse supérieure à la vitesse fixée ; cette mise en action est amenée par la présence d'une cataracte à air dont l'action est rapide et précise.

Cet appareil est simple, facile à entretenir, et sans sujétion spéciale pour les machinistes.

Communication de M. Félix Benoit sur **l'émerillon système Moustier.**

Cet appareil, qu'il est difficile d'expliquer sans le secours de figures, a de particulier que le coussinet autour duquel tourne la tige centrale dans la cavité conique de la chape est en deux parties, ce qui donne une grande facilité pour le montage et le démontage. Cet émerillon est adopté par la marine nationale et est appliqué aux mines de Valdonne.

**Production houillère des départements du Centre** en 1904 et 1903.

La production des départements du Centre, Allier, Nièvre, Puy-de-Dôme, Haute-Loire et Cantal, a été, en 1904 et 1903, de 769 000 t contre 817 000 t pour le premier de ces départements, 138 000 t contre 143 000 t pour le second, 419 000 t contre 430 000 t pour le troisième, 347 000 t contre 364 000 t pour le quatrième et de 116 000 t contre 111 000 t pour le dernier. Il y a donc eu en 1904 une diminution plus ou moins importante pour les quatre premiers de ces départements et une légère augmentation pour le dernier.

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

### N° 13. — *1er avril 1905.*

Wagon à bascule de 15 t de port.

Concours pour le projet d'un pont-route fixe sur le Rhin, entre Ruhrort et Homberg, par K. Bernhard *(fin)*.

Station d'électricité avec turbines à vapeur à Saint-Ouen, par L. Troske.

Rendement mécanique des moteurs à gaz, par Stodola.

Observations sur le même sujet par Schöttler, E. Meyer, Erhrhardt et Wagener.

*Groupe de Hanovre.* — Avertisseur automatique d'incendie pour l'intérieur des maisons.

*Bibliographie.* — Cours de navigation intérieure de l'École nationale des Ponts et Chaussées. Canaux, par F. B. de Mas.

*Revue.* — Importation et exportation des machines dans l'Empire allemand en 1904. — Embrayage à friction de Sturtevant.

### N° 14. — *8 avril 1905.*

Étude sur la marche des ascenseurs électriques, par H. Stahl.

*Eposition de Saint-Louis.* — Le matériel de chemin de fer, par F. Gutbrod *(suite)*.

Le chemin de fer souterrain de New-York, par F. Körter *(suite)*.

Expériences sur la transmission de la chaleur dans le surchauffeur Heizmann, par O. Berner *(fin)*.

Station centrale d'électricité avec turbine à vapeur à Saint-Ouen, par L. Troske *(fin)*.

*Exposition de Saint-Louis.* — Questions diverses se rattachant à l'électrotechnique, par Cl. Feldmann *(fin)*.

*Groupe de Dresde.* — Conséquences techniques et commerciales des progrès réalisés dans le transport des matières en grandes masses.

*Groupe de Wurtemberg.* — Gisements minéraux sous forme de filons. — La fabrique de moteurs de la Société Daimler, à Unterternkheim.

*Bibliographie.* — Calcul et construction des machines marines, par H. Wilder.

*Revue.* — Activité de l'établissement technique d'essais de Berlin dans l'année 1903. — Grue mobile pour la construction des navires. — Élévation d'eau à moteur électrique pour habitations. — Fermeture du gueulard pour hauts fourneaux. — Fête à propos du percement du Simplon.

### N° 15. — *15 avril 1905.*

Projet d'un pont mixte pour route et chemin de fer sur l'Oder près de Neusalz, par F. Dircksen.

Récipients pour l'emmagasinage des gaz liquéfiés, par A. Martens.
Le chemin de fer souterrain de New-York, par F. Körter *(fin)*.
La notion de la limite d'élasticité, par C. Bach.
Soupapes libres pour pompes, par L. Klein.
La définition du travail, par Wehage.

*Groupe de la Haute-Silésie.* — Installation d'épuration des eaux et de destruction des ordures ménagères à Benthen-Ronberg.

*Bibliographie.* — Construction des turbines à vapeur, par A. Musil. — Service commercial dans l'exploitation des chemins de fer, par J. Zinsmeister.

*Revue.* — Chaudières à tubes d'eau pour les navires de guerre, par W. Kaemmerer. — Exposition universelle de Liége. — Four pour le chauffage des rivets. — Turbine à vapeur de 10 000 ch pour actionner des dynamos à l'usine électrique d'Essen-sur-Ruhr.

N° 16. — *22 avril 1905.*

Ordre du jour de la quarante-sixième Assemblée génénérale de l'Association des Ingénieurs allemands à Magdebourg en 1905.

Les laboratoires techniques aux États-Unis, par A. Gramberg.

Procédés mécaniques applicables dans les usines métallurgiques, par F. Fröhlich.

Projet d'un pont mixte pour route et chemin de fer sur l'Oder, près de Neusalz, par F. Dircksen *(fin)*.

Nouvelles machines-outils de la fabrique de Fries et C^ie^, à Heerst-Dusseldorf, par P. Möller.

*Groupe de Berlin.* — Procédés et méthode de sondages.

*Groupe de Francovie et du Haut-Palatinat.* — Le district allemand de Togo, ses moyens de transport et de débarquement.

*Revue.* — Les motocycles. — Pont sur le Saint-Laurent. — Installation des conducteurs pour chemins de fer à courant monophasé. — Montage d'un pont au moyen de câbles.

*Pour la Chronique et les Comptes rendus :*

A. Mallet.

# BIBLIOGRAPHIE

## I[re] SECTION

**Les Irrigations en Égypte,** par J. BAROIS (1).

Dans cet ouvrage documenté et très complet, M. J. Barois, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et Directeur français des Chemins de fer Égyptiens de l'État, passe en revue successivement tous les procédés employés en Égypte pour augmenter la fertilité du sol dans les parties qui peuvent être irriguées par le Nil.

Après un coup d'œil général sur l'Egypte et son sol, ainsi que sur le Nil, il entreprend l'étude détaillée de tous les procédés généraux de l'arrosage par inondation et la description des bassins d'inondation, puis il aborde l'examen technique et complet de tous les procédés généraux pratiqués en Égypte. Des chapitres traitent de la description générale des canaux d'irrigation, du drainage et de l'assainissement des terres, de l'emmagasinement des eaux de la crue du Nil et extension de l'irrigation, de l'élévation mécanique des eaux d'arrosage, des digues et canaux.

L'ouvrage se termine par la description de quelques ouvrages d'art et l'exposé de l'organisation administrative et législative du Service des irrigations, puis quelques notes sur l'Agriculture et le développement agricole de l'Égypte.

Des cartes et des dessins très complets, avec des gravures, permettent de mieux se rendre compte des travaux décrits. C'est un ouvrage fort intéressant à consulter pour toutes les personnes s'occupant des questions coloniales agricoles, principalement en vue de l'application des procédés décrits aux grands fleuves de nos colonies.

F. T. S.

---

**Projet d'un Canal de Panama,** par LINDON W. BATES C. E. (2).

Après avoir rappelé très succinctement les projets déjà élaborés, l'auteur déclare que le sien est entièrement nouveau et totalement différent des précédents. D'après lui le canal doit être une entreprise commerciale dont le Gouvernement fédéral serait un des bailleurs de fonds. Le capital total nécessaire serait de 230 millions de dollars, dont 145 millions pour la construction, le reste pour le rachat de la Compagnie du canal de Panama et du chemin de fer de l'isthme, l'acquisition du terrain, les intérêts, etc. La période de construction durerait de dix à

(1) In-8°, 285 × 190 de IV-386 p. avec 87 fig. et 17 pl. Paris, Ch. Béranger, 1904. Prix, broché : 30 f.
(2) in-8°, 285 × 215 de 38 p. avec 5 pl., 1905.

douze ans et les dépenses arriveraient à égaler les recettes au bout de cinq ans et demi, le tarif étant fixé à 1 dollar par tonne nette.

Ce canal serait au niveau de la mer, sa longueur compterait 41 miles et demi (66 km) en ne parlant pas des portions submergées dans chaque Océan. Il aurait une largeur de 150 pieds (45 m) et une profondeur de 40 pieds (12.20 m), ses talus ne devraient pas dépasser 2,5/1; sa largeur au niveau de l'eau serait donc de 350 pieds (107 m) et son profil en travers présenterait une surface de 10 000 pieds carrés (929 m²).

Dans la Culebra on lui donnerait des dimensions un peu différentes: 190 pieds (58 m) au plafond et 210 pieds (64 m) à la surface, les berges à 1/4, ce qui donnerait un profil en travers de 8 000 pieds carrés (743 m²). Dans ces conditions, des défenses placées sur les rives permettraient de les maintenir en bon état.

On placerait une écluse à la Boca et l'autre à Mindi, elles mesureraient 1 000 pieds × 100 pieds (305 m × 30), dimensions nécessitées par les proportions croissantes des navires (les derniers Cunard ayant 780 p × 88 p). Le niveau de l'eau serait à + 20 pieds au-dessus de la mer moyenne. A ses deux extrémités on formerait deux lacs à niveau peu élevé : celui du Nord (lac Chagres) au moyen de digues réunissant entre elles les collines situées à l'Ouest et à l'Est de Mindi et d'un barrage en travers du Rio-Chagres, sa superficie représenterait 29,5 miles carrés (7 670 ha) et sa longueur 11,8 km ; l'autre (lac de Panama) mesurerait 7 miles carrés (1 620 ha) et 5,5 km. On entrerait dans chacun de ces lacs par des écluses, le niveau en serait réglé par des barrages insubmersibles. On aurait ainsi 17 miles 1/4 de navigation en lac : de Mindi à Buena-Vista et de Miraflores à la Boca (ce qui donne 6 miles de plus que dans le projet basé sur le lac Bohio.)

Pour régulariser le Rio-Chagres on établirait des barrages à Alhajuela et à Gamboa, leur retenue totale serait de 900 000 000 m³ d'eau, s'écoulant sur les deux versants avec un courant maximum de 3 pieds (0,90 m) à la seconde.

En somme, ce projet n'est pas celui d'un canal, mais bien d'une rivière canalisée avec deux directions d'écoulement conduisant chacune à un lac de grande étendue et facilement réglable. Les barrages seraient semblables à celui d'Assouan, qui retient six fois plus d'eau.

Le lac Chagres rendrait la contrée plus salubre en submergeant tous les marais et permettrait d'ériger une nouvelle ville de Colon plus saine que l'ancienne; en aval seraient situés les wharfs, les bassins et les dépôts de charbon. La passe des digues ne devrait pas avoir plus de 700 pieds de large (215 m) eu égard aux vents du Nord.

Pour la construction on pourrait utiliser une grande partie des tranchées faites par les Français et on devrait d'abord ériger les barrages et créer les lacs afin de pouvoir draguer l'emplacement du canal en ces endroits. On emploierait l'électricité seulement pour l'éclairage des chantiers et dans les ateliers, mais non pour les outils placés à l'extérieur; il serait avantageux d'installer une conduite de pétrole tout le long du tracé, ce qui présenterait plus d'économie que le charbon et permettrait en outre de détruire les moustiques.

Pendant la période d'exploitation, les pilotes s'éclaireraient au moyen

d'un projecteur puissant placé à bord, ce qui est préférable à des lampes disposées sur les berges. On ménagerait des bassins de croisement aux deux lacs et à Obispo. Pour le transit on opérerait comme à Suez. L'auteur conclut en faisant remarquer que ce projet aurait sur les autres l'avantage de faire gagner quatre ou cinq heures de trajet.

J. G.

---

## IVe SECTION

**Annuaire de la Sidérurgie** *(Jahrbüch fuer das Eisenhüttenwesen)* (1), pour 1902, par Otto Vogel, rédacteur de la publication *Stahl und Eisen*.

Cet annuaire paraît pour la troisième fois et le quatrième volume est en préparation; c'est un complément des plus utiles au *Stahl und Eisen*, l'organe bien connu de la Société des Ingénieurs métallurgistes allemands, dont le cadre forcément limité ne permet de passer en revue qu'une partie restreinte des publications spéciales allemandes et étrangères.

M. Otto Vogel réunit par contre, chaque année, dans ce volume, toutes les indications relatives aux questions les plus variées touchant d'une façon quelconque à la fabrication du fer et de l'acier.

Le volume, qui vient de paraître en 1905, signale toutes les questions traitées dans les publications les plus diverses de 1902; aussi tous les Ingénieurs s'intéressant au fer et à l'acier d'une manière quelconque, peuvent-ils en tirer un grand profit, étant mis à même d'utiliser, sans efforts ni perte de temps, le travail auquel M. Vogel s'est adonné avec une rare patience.

L'auteur a dû parcourir en effet, pour rédiger ce travail, 134 publications en neuf langues diverses, savoir : en allemand (57), en anglais (40), en français (19), en suédois (8), en danois (2), en russe (2), en italien (2), en espagnol (2) et en hollandais (2).

Les questions les plus importantes sont résumées en quelques mots avec les conclusions essentielles, d'autres sont simplement mentionnées avec indication exacte de la publication originale et du nom de l'auteur.

L'ouvrage comprend notamment les chapitres suivants, méthodiquement ordonnées, savoir :

A. Questions générales, statistiques;
B. Combustibles (bois, tourbe, charbon, coke, pétrole, gaz);
C. Foyers (pyrométrie, fumivorité, chaudières à vapeur, etc.);
D. Matériaux réfractaires;
E. Laitiers et scories;
F. Minerais de fer et métaux spéciaux, préparation des minerais;
G. Installation et aménagement d'usines;

(1) In-8°, 245 × 155 de xvi-465 pages, avec 89 figures dans le texte. — Dusseldorf, A. Bagel, 1905. — Prix, pour les membres de la Société des Métallurgistes allemands : 4 marks; prix en librairie : 10 marks.

H. Fabrication de la fonte (petits fourneaux, souffleries, air chaud. accessoires);
I. Fonderie de fonte;
K. Fabrication du fer et de l'acier (puddlage, fer fondu, aciers divers):
L. Travail à chaud du métal (laminoirs, plaques de blindage, canons. tubes, fil de fer, galvanisation, etc.);
M. Travail à froid du fer et de l'acier;
N. Propriétés du fer au point de vue physique et chimique;
O. Alliages du fer;
P. Essais des matériaux en fer et en acier.

Le tout est judicieusement complété par une liste des publications utilisées, par une table des noms d'auteurs, et par une table des matières détaillée permettant de retrouver immédiatement la publication originale dans laquelle une question quelconque intéressant la sidérurgie a pu être traitée pendant l'exercice analysé.

A. Gouvy.

---

*Le Secrétaire Administratif, Gérant,*
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 7802-4-05. — (Encre Lorilleux)

J. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

# MÉMOIRES

ET

# COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

---

# BULLETIN

DE

MAI 1905

---

N° 5.

---

## OUVRAGES REÇUS

---

Pendant le mois de mai 1905, la Société a reçu les ouvrages suivants.

### Agriculture.

SINIGAGLIA (F.). — *Aperçu sur la mouture moderne*, par M. François Sinigaglia (Extrait de la Revue de Mécanique, janvier 1905) (in-4°, 315 × 225 de 19 p., avec 12 fig.). Paris, V$^{ve}$ Ch. Dunod, 1905. (Don de l'auteur.) 43825

### Astronomie et Météorologie.

*Publications of the Earthquake Investigation Committee in foreign Languages. N° 20. Tokio, 1905* (in-8°, 255 × 180 de 83 p. avec 12 pl.). 43780

### Chemins de fer et Tramways.

GOUIN et LE CHATELIER. — *Recherches expérimentales sur les machines locomotives*, par M. Gouin et M. Le Chatelier (in-4°, 285 × 225 de 40 p. avec 6 pl.). Paris, L. Mathias, 1845. (Don de M. A. Mallet, M. de la S.) 43789

Marié (G.). — *Oscillation des véhicules de chemin de fer sur leurs ressorts de suspension*, par M. Georges Marié (Extrait des Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Séance du 6 mars 1905) (in-4°, 280 × 220 de 3 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43802

*Report on the Subsidized Railways and other Public Works in the Province of Nova Scotia, for year ending September 30, 1904* (in-8°, 245 × 165 de 40-cxviii p.). Halifax, N. S., 1905. 43781

## Chimie.

Randau (P.) et Campagne (Ém.). — *La fabrication des émaux et l'émaillage. Traité pratique de la fabrication des émaux industriels et artistiques, et Guide de l'émailleur sur métaux*, par Paul Randau. Traduit et annoté sur la troisième édition allemande, par Ém. Campagne (in-8°, 230 × 140 de 251 p. avec 23 fig.). Paris. Vve Ch. Dunod. (Don de l'éditeur.) 43831

Beauverie (J.) et Daubrée. — *Le bois*, par J. Beauverie, avec une préface de M. Daubrée. *Fascicules I et II* (Encyclopédie industrielle fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de xi-1402 p. avec 485 fig. et 11 pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1905. (Don de l'éditeur.) 43833 et 43834

## Construction des machines.

Marié (G.). — *Régulateurs. Organes de réglage et volants des machines. Théorie de la corrélation de ces appareils entre eux*, par M. Georges Marié. Mémoire couronné par l'Académie des Sciences (Extrait des Annales des Mines; liv. d'octobre et de novembre 1896) (in-8°, 250 × 165 de 181 p. avec 4 pl.). Paris, Vve Ch. Dunod et G. Vicq, 1897. (Don de l'auteur, M. de S.). 43801

*Riveuse par pression à main Système F. Arnodin* (in-8°, 210 × 135 de 14 p. avec 7 fig.). Paris, Ruckert et Cie. (Don de M. F. Arnodin, M. de la S.) 43791

*Turbines à vapeur Système Brown, Boveri-Parsons. Septembre 1904* (in-4°, 280 × 220 de 65 p. avec illustr.). Compagnie Électro-Mécanique. Paris, 11, avenue Trudaine. (Don de M. Schwarberg, M. de la S.) 43783

## Économie politique et sociale.

*Bulletin de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail. Année 1904. N° 16* (in-8°, 240 × 155 de 273 p. avec 60 fig.). Paris, au Siège de l'Association, 1904. 43827

*Bulletin de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail. Année 1905. N° 17* (in-8°, 240 × 155 de 240 p. avec 87 fig.). Paris, au Siège de l'Association, 1905. 43810

CAMAU (É.). — *Marseille au XXme siècle. Tableau historique et statistique de sa population, son commerce, sa marine, son industrie, suivi d'indications et de notes relatives à des projets d'améliorations et de réformes*, par Émile Camau. Ouvrage couronné par la ville de Marseille. Prix Beaujour (in-8°, 280 × 190 de xx-1006 p.). Paris, Guillaumin et Cie; Marseille, Paul Ruat, 1905. (Don de l'éditeur.) 43809

COENE (J. DE). — *Rapport du Conseil de Direction sur les travaux, pendant l'année 1904, du service des accidents et du service du Contrôle des installations électriques*, par M. J. de Coene (Extrait du Bulletin de l'Association Normande pour prévenir les accidents du travail. N° 26. Année 1905) (in-8°, 270 × 185 de 12 p.). Rouen, au Siège de la Société, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43837

FRASER (J.-F.) et SAVILLE. — *L'Amérique au travail*, par J.-F. Fraser. Traduit par M. Saville (in-8°, 200 × 190 de XI-259 p. avec 38 pl.) (Collection « Industria »). Paris, J. Dumoulin, 1905. (Don de M. Bernard Tignol.) 43784

*Oesterreichische-Ungarische Handelskammer in Paris gegründet im Jahre 1888* (Chambre de Commerce Austro-Hongroise de Paris, 54, rue Richer). *Rechenschafts-Bericht 1904* (in-8°, 240 × 155 de 59 p.). Paris, Imprimerie Nouvelle, 1905. 43797

## Électricité.

MARRO (A.). — *Manuale dell' Ingegnere elettricista*, per Attilio Marro (Manuali Hoepli) (in-16, 150 × 100 de xv-691 p. avec 192 fig. et 115 tabl.). Milano, Ulrico Hoepli, 1905. (Don de l'éditeur.) 43785

MAZOTTO (D.) et MONTPELLIER (J.-A.). — *La télégraphie sans fil*, par le Professeur Domenico Mazotto. Traduit de l'italien par J.-A. Montpellier (in-8°, 255 × 165 de x-432 p. avec 250 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. (Don de l'éditeur.) 43798

## Enseignement.

LEENER (G. DE). — *La réforme de l'enseignement technique supérieur*. Rapport sur les discussions du Comité d'Études, par Georges de Leener (Société Belge des Ingénieurs et des Industriels) (in-8°, 240 × 160 de 40 p.). Bruxelles, Imprimerie A. Lesigne, 1905. (Don de la Société Belge des Ingénieurs et des Industriels.) 43795

## Législation

*Accidents du travail. Loi du 9 avril 1898, modifiée par les Lois du 22 mars 1902 et 31 mars 1903, et Décrets d'administration publique. Loi du 30 juin 1899, concernant les accidents causés dans les exploitations agricoles* (in-8°, 210 × 135 de 36 p.). Paris, Chevalier et Rivière, 1905. (Don de l'éditeur.) 43786

*A Magyar Mérnök-és építész-égylet. Evkönyve 1905. V. Evfolyam* (in-8°, 235 × 155 de 75 p.). Budapest, Patria, 1905. 4378

*Real Academia de Ciencias y Artes. Ano academico de 1904 à 1905. Nomina del Personal academico* (in-16, 155 × 90 de 104 p.). Barcelona. A. Lopez Robert. 4383

*Société Belge des Ingénieurs et des Industriels. Liste des Membres. Année 1905* (in-8°, 190 × 120 de 98 p.). Bruxelles. l'Imprimerie nouvelle, 1905. 4377

*Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. Annuaire pour l'année 1905* (in-18, 175 × 110 de 128 p.). Paris, Typographie Philippe Renouard, 1905. 4379

*Société internationale des Électriciens. Annuaire pour 1905* (Supplément au Bulletin mensuel. N° 44. 2e série. Avril 1905) (in-8°, 275 × 180 de 116 p.). Paris, Siège social, 1905. 4381

*Syndicat professionnel des Usines d'Électricité. Annuaire 1905. Dixième année* (in-8°, 235 × 155 de xvi-302 p.). Lille, Lefebvre-Ducrocq. 1905. 4378

*The Institution of Mechanical Engineers. List of Members. 1st March 1905. Articles and By-Laws* (in-8°, 215 × 140 de 242 p.). 4377

## Métallurgie et Mines.

Guarini (Ém.). — *L'état actuel de l'Électrométallurgie du fer et de l'acier*, par Émile Guarini. Traduit du Scientific American (in-8°, 240 × 155 de 44 p. avec 36 fig.). Texte français et anglais. Paris, Vve Ch. Dunod. (Don de l'éditeur.) 4380

Le Verrier (U.). — *Métallurgie générale. Procédés de chauffage*, par U. Le Verrier (Encyclopédie industrielle, fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de 367 p. avec 171 fig.). Paris. Gauthier-Villars, 1902. (Don de l'éditeur.) 4382

Le Verrier (U.). — *Métallurgie générale. Procédés métallurgiques et étude des métaux*, par U. Le Verrier (Encyclopédie industrielle, fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de 403 p. avec 138 fig. et 10 pl.). Paris, Gauthier-Villars. 1905. (Don de l'éditeur.) 4382

Lozé (Ed.). — *Les mines et la métallurgie à l'Exposition du Nord de la France (Arras 1904)*, par Ed. Lozé, avec le concours d'ingénieurs, constructeurs et industriels (in-4°, 315 × 225 de 100 p. avec 368 fig. et pl.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. (Don de l'éditeur.) 4379

Peny (Ed. P.-A.). — *Essai de numismatique des Mines du Hainaut*, par Edmond P.-A. Peny (Extrait de la Revue Belge de numismatique. Années 1887 et 1905) (in-8°, 245 × 160 de 56 p. avec 11 fig. et 5 pl.). Bruxelles, J. Goemaere, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 4380

Vogel (O.). — *Jahrbuch für däs Eisenhüttenwesen* (Ergänzung zu « Stahl und Eisen »). Ein Bericht über die Fortschritte auf allen Gebieten des Eisenhüttenwesens im *Jahre 1902*. Im Auftrage des Vereins deutscher Eisenhüttenleute bearbeitet von Otto Vogel. *III Jahrgang* (in-8°, 245×155 de xvi-465 p. avec 89 fig.). Dusseldorf, A. Bagel, 1905. (Don de M. A. Gouvy, M. de la S.) 43811

**Navigation aérienne, intérieure et maritime.**

Bates (L.-W.). — *Project for the Panama Canal*, by Lindon W. Bates, with general Plans and Profiles of the Waterway the regulation Works and the terminal Harbors (in-4°, 295×215 de 38 p. avec 5 pl.). (Don de l'auteur, M. de la S.) 43805

Bertin (L.-E.). — *Cuirassés et croiseurs. Note sur la puissance défensive, particulièrement sur la stabilité après avaries de combat*, par L.-E. Bertin (in-4°, 315×225 de 57 p. avec 30 fig. autographiées). Paris, le 25 février 1904. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43812

Bertin (L.-E.). — *Deuxième Note sur le principe des navires à flottaison cellulaire*, par M. L.-E. Bertin (Institut de France. Académie des Sciences. Extrait des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CXL, p. 1077, séance du 17 avril 1905) (in-4°, 270×220 de 5 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43814

Bertin (L.-E.). — *Sur la giration des navires*, par M. L.-E. Bertin (Institut de France. Académie des Sciences. Extrait des Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. CXL, p. 337, séance du 6 février 1905) (in-4°, 270×220 de 6 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43813

*China. Imperial Maritime Customs. III Miscellaneous Series. N° 6. List of the Lighthouses, light-vessels, buoys and beacons on the coast and rivers of China for 1905. Corrected to 1st December 1904. Thirty-third Issue* (in-4°, 280×220 de 60 p. avec 9 pl.). Shanghai, Published at the Statistical Department of the Inspector general of Customs, 1905. 43818

Maury (F.). — *Le port de Paris. Hier et demain*, par F. Maury (in-8°, 190×120 de 280 p. avec 1 croquis du port de Paris). Paris, Guillaumin et Cie, 1904. (Don de l'éditeur.) 43794

Sacco (Dr F.). — *L'aérovoie. Une solution pratique du problème de la locomotion aérienne*, par le Dr Federico Sacco (in-8°, 245×160 de 11 p.). Turin, P. Gerbone, 1905. (Don de l'auteur.) 43826

*Société anonyme du Canal et des Installations maritimes de Bruxelles. Huitième exercice social. Année 1904. Rapport présenté par le Conseil d'administration à l'Assemblée générale du 13 mai 1905* (in-4°, 305×285 de 58 p.). Bruxelles, Imprimerie Xavier Havermans, 1905. 43806

WILLAUMEZ. — *Dictionnaire de marine*, par le Vice-Amiral Willaumez. Troisième édition (in-8°, 230 × 150 de VIII-582 p. avec 8 pl.). Paris, Bachelier père et fils, 1831. (Don de M. A. Mallet, M. de la S.) 43788

**Sciences mathématiques.**

*Contribution à l'étude de la fragilité dans les fers et les aciers. Mémoires originaux et réimpressions.* Publication faite avec le concours des six grandes Compagnies de chemins de fer français (Société d'Encouragement pour l'industrie nationale) (in-4°, 285 × 230 de XVI-482 p. avec fig.). Paris, Siège de la Société. (Don de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale.) 43820

**Sciences Morales. — Divers.**

DEYDIER (J.). — *Trois ans à la Guyane française, 1901-1904*, par J. Deydier (La Géographie. Tome XI, 1905, pages 194 à 204, format in-8°, 275 × 180). Paris, Masson et C^ie^. (Don de l'auteur.) 43835

**Technologie générale.**

*Annales de la Société d'Agriculture, Sciences et Industrie de Lyon. Septième série. Tome sixième, 1898. Tome septième, 1899. Tome huitième, 1900* (3 volumes in-8°, 265 × 175 de 315-29-XCIV p.; de 70-29-XCVIII p., et de 230-29-CX p.). Lyon, Alexandre Rey. H. Georg: Paris, J.-B. Baillière et fils, 1899, 1901. 43815 à 43817

*Catalogue officiel des Collections du Conservatoire national des Arts et Métiers. Premier fascicule. Mécanique* (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes) (in-8°, 220 × 135 de 439 p. avec illustrations et 3 pl.). Huitième édition. Paris, E. Bernard, 1905. (Don du Ministère du Commerce.) 43790

JORDELL (D.). — *Répertoire bibliographique de la Librairie française, pour l'année 1904*, rédigé par D. Jordell. *Cinquième année* (in-8°, 255 × 165 de 93 p.). Paris, Per Lamm, 1905. 43821

LAHARPE (DE), VIGREUX (Ch.), MILANDRE (Ch.), BOUQUET (R.-P.). — *De Laharpe. Notes et formules de l'Ingénieur et du Constructeur mécanicien. Mathématiques, Mécanique, Électricité, Chemins de fer, Mines, Métallurgie, etc.* Par un Comité d'Ingénieurs, sous la direction de Ch. Vigreux, Ch. Milandre et R.-P. Bouquet. 14^e^ édition, revue, corrigée et considérablement augmentée, contenant 1350 figures. Suivie d'un Vocabulaire technique en français, anglais, allemand (in-16, 185 × 115 de XVI-1818 p.). Paris, E. Bernard, 1905. (Don de M. Ch. Milandre, M. de la S.) 43828

*Rapports du Jury international. Groupe I. Éducation et Enseignement. Quatrième partie. Classe 5 (Tome II)* (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900, à Paris) (in-8°, 295 × 195 de 560 p. avec 227 fig.). Paris, Imprimerie Nationale, 1904. (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900.) 43793

*Rapports du Jury international. Groupe IV. Matériel et procédés generaux de la mécanique. Deuxième partie. Classe 20* (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900, à Paris) (in-8°, 295×195 de 278 p. avec 211 fig. dans le texte). Paris, Imprimerie Nationale, 1904. (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900.) 43807

*Rapports du Jury international. Introduction générale. Tome III. Cinquième partie. Agriculture, horticulture, aliments* (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900, à Paris) (in-8°, 295×195 de III-754 p. avec 193 fig.). Paris, Imprimerie Nationale, 1905. (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900.) 43829

*The John Crerar Library. Tenth Annual Report for the year 1904* (in-8°, 255×170 de 50 p.). Chicago, Printed by order of the Board of Directors, 1905. 43836

*Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen früher Zeitschrift des Architekten und Ingenieur-Vereins zu Hannover. Sechstes Alphabetisches Inhaltverzeichnis. Band XXXVII bis XXXVII. Jahrgang 1892 bis 1901.* Herausgegeben von dem Vorstande des Architekten-und Ingenieur-Vereins zu Hannover (in-4°, 360×270 de 211 p. à 3 colonnes). Wiesbaden, C.-W. Kreidel's Verlag, 1905. 43804

## Travaux publics.

*Annales des Ponts et Chaussées. 1re partie. Mémoires et documents. 75e année. 8e série. Tome XVII, 1905, 1er trimestre* (in-8°, 255×165 de 358 p. avec 4 pl.). Paris, E. Bernard. 43822

Précis (V.). — *Guide du couvreur-plombier-zingueur*, par V. Précis. *Première partie. La Couverture* (in-18, 165×110 de XI-324 p. avec 410 illustrations). Paris, Lucien Laveur. (Don de l'éditeur.) 43808

*Proceedings of the Municipal Engineers of the City of New York and Constitution, By Laws, List of Members and Annual Report, 1903* (in-8° 235×150 de 140-56-XLI p. avec illustr.). New-York, Published by the Society, 1904. 43782

*Sageret. Annuaire du Bâtiment, des Travaux publics et des Arts industriels. 96e année. 1905* (in-8°, 220×135 de 2450 p.). Paris, 53, rue de Rennes, 1905. 43792

Strauss (J.-B.). — *Modern bascule bridges*, by Joseph B. Strauss (Copyright by Western Society, 1904) (in-8°, 230×150 de 47 p. avec 30 fig.). (Don de l'auteur, M. de la S.) 43800

# MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les membres nouvellement admis pendant le mois de mai 1905, sont :

Comme membres sociétaires titulaires, MM. :

| | | |
|---|---|---|
| G. Bélis, | présenté par MM. | Brunon, Collet, Verrier; |
| H. C. P. Bellet, | — | Bourdon, Cote, Ribourt; |
| F. Blondel, | — | Crépin, T. Seyrig, de Fonbonne; |
| A. V. Brachotte, | — | Coiseau, Hillairet, A. Huguet; |
| L. Cabanel, | — | Baron, Lafon, Pierson; |
| E. Capdeville, | — | Colomer, Bel, de Gennes; |
| E. A. Doiteau, | — | Bonvillain, Joubert, Ronceray; |
| E. J. P. Dumesnil, | — | Coiseau, G. Béliard, Prus; |
| E. Faraggi-Vitalis, | — | Couriot, Biard, Bécard; |
| A. E. E. Leroy, | — | Laurain, Martin, Schuhler; |
| L. Richard, | — | Baratoux, Dollot, Wurgler; |
| E. L. Richard, | — | Brunon, A. Collet, Verrier; |

Comme membre associé M. :

P. M. A. Regnier, présenté par MM. Benoiste, Sincholle, Turgan.

# RÉSUMÉ

DES

# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MAI 1905

---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 5 MAI 1905

---

PRÉSIDENCE DE M. L. COISEAU, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer les décorations et nominations suivantes. Ont été nommés :

Chevalier du Mérite Agricole : M. G.-L. Maris;

Chevaliers de l'Ordre de François-Joseph d'Autriche : MM. A. Darracq, Max Richard et Auguste Lecomte.

Membre du Conseil du Commerce extérieur de la France : M. H. Faucher;

Membre de la Commission d'Hygiène et de Salubrité du IX$^{e}$ arrondissement de Paris : M. H. Constantin;

Enfin, M. A. Loreau, ancien Président de la Société, a été nommé Vice-Président de la Société des Agriculteurs de France, et, en remplacement de M. G. Forestier, Membre d'honneur de la Société récemment décédé, Président de la Commission technique de l'Automobile-Club de France.

M. LE PRÉSIDENT adresse les félicitations de la Société à tous ces Collègues et plus particulièrement à M. Loreau.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que MM. J. Frey et Guerra Romero, Membres de la Société, ont fait don, pour le fonds de secours, le premier d'une somme de 14 f et le second d'une somme de 30 f.

M. le Président leur adresse les vifs remerciements de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains Bulletins.

La Société Industrielle du Nord de la France vient de faire parvenir le programme des questions qu'elle propose pour le concours de 1905.

Les questions proposées concernent :

1° Le Génie civil, les Arts mécaniques et la Construction;

2° La Filature et le Tissage;

3° Les Arts chimiques et agronomiques;

4° Le Commerce, la Banque et les questions d'utilité publique.

Cette Société décernera en outre un assez grand nombre de Prix spéciaux, ainsi que des Certificats et Médailles aux Directeurs, Contremaîtres, Ouvriers, etc.

La distribution des Prix et Récompenses aura lieu en janvier 1906.

Le programme détaillé est déposé à la Bibliothèque.

Le 4e Congrès international de l'Acétylène se tiendra à Liége les 17, 18 et 19 juillet 1905.

M. P. Jannettaz a la parole pour sa communication sur la *Fusion pyritique*.

M. P. Jannettaz explique que, pour bien préciser la place que la *Fusion pyritique (Pyritic Smelting)* a prise dans la métallurgie, il doit d'abord rappeler divers points relatifs à la métallurgie du cuivre.

Il commence donc par passer rapidement en revue les opérations : 1° du grillage des minerais et 2° de la fusion pour matte; à propos de cette dernière, il signale le procédé de fusion des minerais d'argent que Percy a appelé jadis *Fusion pyritique*, et qu'il ne faut pas confondre avec le procédé actuel; il résume les recherches faites par Hollway en 1878 et 1879 pour utiliser les éléments combustibles (soufre et fer) contenus dans les minerais et les mattes.

Sans revenir sur l'historique qu'il a présenté à propos de son mémoire sur les *Convertisseurs pour cuivre*, publié au Bulletin de la Société. M. Jannettaz tient à rappeler le nom de notre Collègue M. Paul David. l'inventeur de la métallurgie du cuivre au convertisseur; puis il expose comment, en reprenant les idées d'Hollway sur l'emploi du vent chaud. un métallurgiste américain, Lawrence Austin, entreprit de nouvelles recherches pour traiter les minerais, en employant comme seule source de chaleur dans le four à cuve la pyrite de fer $FeS^2$. Ces recherches aboutirent à un brevet, en 1891. Ce brevet comportait, d'une part, l'emploi du vent chaud indiqué par Hollway et prévoyait, d'autre part, un four à cuve ayant des dispositions tout à fait particulières. Ces dispositions n'ont pas été adoptées. Mais des installations pour fusion pyritique ont été faites, aussitôt après celle d'Austin, dans diverses fonderies.

Un peu plus tard, M. Lang revint à l'emploi du vent froid, en rajoutant du coke au lit de fusion; cette façon d'opérer, qui s'est beaucoup généralisée, constitue, par les additions plus ou moins grandes de combustible auxquelles elle se prête, un passage graduel entre la fusion pyritique d'Austin et la fusion ordinaire pour matte. Mais ce qui caractérise la fusion pyritique c'est que le four à cuve où on la pratique est un four de fusion oxydante pour le minerai — ou du moins une partie

du minerai — au lieu d'être, comme dans l'ancien procédé de fusion pour matte, un four de fusion neutre et d'être, comme le haut fourneau, un four de fusion réductrice.

Au point de vue pratique, il résulte de ce mode de fonctionnement du four à cuve la suppression du grillage du minerai et la diminution de la dépense de coke, puisqu'une partie de la chaleur nécessaire à la fusion est fournie par la combustion du sulfure de fer.

Mais pour que le procédé fonctionne d'une façon régulière, on doit y apporter beaucoup de soins et d'habileté, car il est plus complexe et difficile à conduire que celui de la fusion ordinaire.

Avant de l'installer, il est donc particulièrement nécessaire de se préoccuper de la nature du minerai, tant au point de vue physique que chimique, de la teneur du lit de fusion, notamment en zinc et en alumine, de la composition des scories, de la quantité de vent, de sa pression et de sa température, des dimensions du four et de son activité, de la concentration de la matte, etc.

M. Jannettaz donne en passant des indications sur quelques-uns de ces différents points; puis il signale, à titre d'exemples, une série d'usines employant la fusion pyritique : aux États-Unis, en Australie, dans le Tyrol (Brixlegg) et en Transcaucasie (Allah Verdi). Cette dernière installation est l'œuvre d'Ingénieurs français.

D'une façon générale — sauf pour l'usine de Brixlegg — les minerais traités sont à faible teneur en cuivre; la matte qu'ils fournissent est refondue pour matte à haute teneur, qui est envoyée aux convertisseurs.

Dans un des cas cités, la teneur en cuivre s'abaisse à 0,5 0/0 ; la fusion a alors pour but de recueillir dans la matte les métaux précieux. D'autres exemples montrent la puissance du procédé pour éliminer l'arsenic.

Afin de résumer aussi brièvement que possible les avantages et les inconvénients du procédé de la fusion pyritique. M. Jannettaz énumère les conditions les plus favorables à ce procédé. Puis il passe aux variantes qui en ont été proposées.

Enfin, il arrive à la définition de la fusion pyritique. C'est, dit-il, un procédé de fusion oxydante, au four à cuve, pour traiter les minerais sulfurés simples ou complexes, contenant du fer, et pour obtenir une matte où le cuivre, l'or et l'argent sont entraînés; dans ce procédé une partie de la chaleur nécessaire à la fusion est fournie par la combustion d'une partie des éléments des minerais et tout spécialement le sulfure de fer.

En terminant, M. Jannettaz indique les raisons qui lui paraissent devoir faire conserver la dénomination de *fusion pyritique*, traduction littérale des deux mots anglais *pyritic smelting*, de préférence aux autres dénominations proposées en France par les Ingénieurs et les Chimistes qui ont fait des publications sur ce procédé.

M. le Président remercie M. Jannettaz de sa communication. Il est très intéressant pour la Société de voir traiter cette question et nul n'était mieux que M. Jannettaz qualifié pour l'exposer.

M. le Président l'en félicite et l'en remercie à nouveau.

M. F. Glaizot a la parole pour sa communication sur la *Métallurgie du cuivre aux Etats-Unis*.

M. F. Glaizot commence par l'historique de la métallurgie du cuivre aux États-Unis ; celle-ci s'est développée considérablement dans les dernières années du xix$^e$ siècle: en 1845, la production du cuivre aux États-Unis était de 100 t ; en 1880, elle atteignait déjà 27 000 t ; ce premier accroissement fut suivi bientôt par un effort prodigieux qui plaça immédiatement les États-Unis au-dessus des autres nations productrices de cuivre ; enfin, depuis dix ans, la production de la République nord-américaine dépasse celle du reste du monde.

Les gisements de cuivre natif du Michigan attirèrent d'abord les métallurgistes américains. Puis, les importations du Chili et de Cuba amenèrent la création d'un grand nombre d'usines sur la côte de l'Atlantique. Les minerais oxydés de l'Arizona vinrent ensuite apporter leur contingent de production. La mine d'Anaconda, découverte en 1883, fut le point de départ de la grande production du Montana. C'est dans cet État que s'accomplirent les progrès les plus importants dans la métallurgie du cuivre aux États Unis. Le convertisseur David-Manhès fut installé pour la première fois en Amérique, à l'usine de Parrot, à Butte (Montana) ; les premiers essais de fusion pyritique se firent à Toston et à Boulder, également dans le Montana.

A la fin du siècle précédent, des nouvelles usines s'élevèrent dans le Colorado, la Californie, l'Utah, l'Idaho, le Tenessee et le New-Mexico. Le procédé électrolytique fit ses débuts dans les usines de la côte de l'Atlantique. Beaucoup de Compagnies s'associèrent entre elles. En 1890, un trust puissant, « The Amalgamated Copper Company », se forma dans le but de contrôler les exploitations et les opérations métallurgiques de plusieurs Compagnies du Montana, du Michigan et du Tenessee ; son capital atteint actuellement 155 millions de dollars.

M. F. Glaizot rappelle les diverses parties du traitement des minerais de cuivre ; ce traitement comprend :

La préparation mécanique;

Le grillage;

La fusion pour matte au four à cuve ou au four à réverbère:

La conversion de la matte;

Le raffinage du cuivre noir et du Blister Copper.

Le minerai, après passage au concasseur Blake ou Austin, est broyé par des cylindres broyeurs ou des bocards. Il est ensuite concentré dans des Jigs ou des tables à secousses. M. F. Glaizot signale que les tables de Wilfley tendent à remplacer les Frue Vanners qui ont une capacité et un rendement inférieurs, et qui exigent des réparations constantes, comme il a eu lui-même occasion de le constater dans les installations américaines dont il a eu à s'occuper.

Passant rapidement sur les fours mécaniques de grillage, il en vient aux fours à cuve ; les fours à section rectangulaire sont presque universellement employés dans les usines importantes ; leur forme est de plus en plus allongée. Ces fours présentent généralement un rétrécissement de la section aux tuyères ; cependant, une trop grande con-

traction cause une marche très rapide, d'où résulte une allure trop réductrice qui produit, par conséquent, une matte à basse teneur.

Les water-jackets se sont substitués presque partout aux fours en briques. La seule difficulté provient de la nécessité d'une grande quantité d'eau. On a employé quelquefois l'eau de mer; on a aussi essayé de ne faire sortir l'eau du jacket qu'après qu'elle a absorbé la chaleur latente nécessaire à sa vaporisation, de manière à rendre son pouvoir de refroidissement plus considérable.

Ces fours atteignent couramment la capacité de 400 t. Ils sont munis d'une façon générale d'avant-creusets qui évitent la formation de fer réduit par suite du séjour prolongé de la matte dans le four, et qui ne nuisent pas à la bonne séparation de la matte et de la scorie, ainsi que certains métallurgistes allemands l'ont prétendu.

Les fours à réverbère ne sont plus guère employés que pour la fusion des concentrés; les fins et les poussières n'y donnent lieu à aucun ennui alors que dans les water-jackets ils produisent rapidement des concrétions et qu'il est nécessaire de les agglomérer en briquettes ou en boulets. Ces fours ont une capacité variant entre 100 et 150 t. Ils sont quelquefois chauffés au gaz.

M. Glaizot dit seulement quelques mots des convertisseurs et de la fusion pyritique qui ont été l'objet de communications de la part de M. Jannettaz. Les convertisseurs sont employés dans la presque totalité des usines. Le convertisseur horizontal tend de plus en plus à remplacer le convertisseur vertical du type Stallmann ou Parrot.

Le cuivre est raffiné par électrolyse ou par fusion au four à réverbère. Le procédé électrolytique ne date que de quelques années. Mais déjà, en 1902, la production du cuivre électrolytique aux États-Unis dépassait les 86 0/0 de celle du monde entier.

Le raffinage au réverbère a peu changé depuis de longues années; les manipulations y ont été simplifiées au moyen de l'appareil Walker qui permet un transbordement mécanique du cuivre purifié.

M. Glaizot termine en citant quelques usines importantes :

A Anaconda, celle de la Compagnie de Washoe, qui dépend de l'Amalgamated; elle possède une fonderie de 4500 t de minerai par jour. Le minerai y est concentré par des Jigs et des tables de Wilfley. Il y a :

48 fours de grillage du type Mac-Dougall;
5 water-jackets de 400 t;
14 réverbères de 135 t;
8 convertisseurs horizontaux.

Dans le Michigan, « The Michigan Smelting Company », syndicat de plusieurs Compagnies minières, a installé récemment près d'Houghton une usine de raffinage qui peut produire annuellement près de 60 000 t de cuivre.

Le minerai concentré a une teneur moyenne de 50 0/0 en cuivre; il est fondu dans trois fours à réverbère de 100 t; le cuivre formé est raffiné dans deux petits réverbères; les scories de ces fours sont broyées par une machine Blake et fondus dans un water-jacket.

M. le Président remercie M. Glaizot de sa communication très documentée sur tout ce qui touche la question du cuivre aux Etats-Unis et qui complète très heureusement celle de M. Jannettaz.

M. L. Guillet a la parole pour sa communication sur les *Aciers à outils à marche rapide, le magnétisme des alliages.*

M. Guillet définit tout d'abord l'acier à coupe rapide : c'est un alliage à base de fer permettant de travailler les aciers doux, demi-durs, durs, la fonte, dans des conditions telles que les copeaux produits sortent au *bleu*, voir même au rouge sombre.

Un certain nombre de clichés et d'échantillons, envoyés par M. Gledhill, permettent de montrer le travail obtenu.

Mais la communication a trait surtout à la théorie des aciers à coupe rapide : M. Guillet rappelle d'abord ce que l'on nomme point de transformation et étudie ce qui se passe dans le fer et dans les alliages fer-carbone. Puis il étudie spécialement la transformation du carbone combiné en carbone dissous et démontre que la trempe des aciers au carbone est essentiellement liée à la dissolution du carbone.

Il est ainsi conduit à la théorie actuelle de la *trempe.*

Passant aux aciers à coupe rapide, M. Guillet en donne les caractéristiques au point de vue de la composition et montre qu'ils renferment toujours du chrome et du tungstène. Il rappelle la constitution des aciers au chrome, et celle des aciers au tunsgtène qu'il a déjà étudiée dans une précédente communication. Il montre que tous les aciers à coupe rapide renferment des grains blancs qui doivent être un carbure triple de fer, de chrome et de tungstène.

Si l'on porte un acier à coupe rapide à une température élevée, et si on le laisse refroidir à l'air, ces grains blancs disparaissent, tout au moins partiellement. Il y a donc du carbone dissous et l'acier est partiellement trempé.

M. Osmond a montré que plus la température de chauffage d'un acier à coupe rapide est élevée, plus le point de transformation au refroidissement qui suit est bas. Ceci prouve que la cémentite de ces aciers éprouve une grande difficulté dans sa segrégation.

M. Guillet traduit ce phénomène par des courbes très simples qui le mettent mieux en vue et permettent d'expliquer les deux propriétés caractéristiques des aciers à coupe rapide qui sont :

1° De supporter une température de revenu plus élevée que les aciers au carbone, sans perdre la trempe;

2° De prendre la trempe à l'air.

En terminant, M. Guillet signale qu'il serait probablement possible d'unifier le traitement des aciers à coupe rapide, qui varie actuellement d'une marque à l'autre. Il pense que l'on pourrait résumer comme suit ce traitement :

1° Forger entre 950 et 800;

2° Porter à 1 250 — 1 300;

3° Refroidir dans un courant d'air;

4° Affûter sur meule sèche ou au milieu d'un courant d'eau;

Eviter les gouttelettes d'eau qui amènent les tapures.

M. Guillet présente une seconde communication sur le *Magnétisme des alliages*. Il montre tout d'abord les nombreuses exceptions présentées par les alliages à la loi du mélange : fusibilité, résistance électrique, dilatation.

Il étudie spécialement le magnétisme.

Quand on allie un métal magnétique à un métal non magnétique on a tantôt des alliages magnétiques (fer-aluminium pour Al $<$ 20 0/0; fer-cuivre pour Cu $<$ 60 0/0), tantôt des alliages non magnétiques.

Deux métaux magnétiques donnent généralement des alliages magnétiques : tous les alliages cobalt-nickel ou fer-cobalt sont magnétiques; mais les alliages fer-nickel sont parfois non magnétiques; les études de M. Osmond et de M. Dumas sont rappelées. Des expériences mettent en vue les transformations subies par certains de ces aciers, à basse température.

Deux métaux non magnétiques donnent généralement des alliages non magnétiques. Des exceptions ont été découvertes, il y a peu de temps en Allemagne ; ce sont des alliages du manganèse avec l'aluminium, l'étain et l'antimoine.

Plusieurs échantillons sont présentés.

M. Guillet croit que la théorie la plus vraisemblable consiste à admettre que le manganèse est magnétique à basse température; l'aluminium et les autres métaux cités relèveraient son point de transformation magnétique au-dessus de la température ordinaire.

En terminant, M. Guillet montre qu'il est également possible que le chrome soit magnétique à basse température.

M. le Président remercie vivement M. Guillet de la savante communication qu'il vient de faire, comme toujours, d'une façon magistrale. Les renseignements qu'il a donnés seront certainement utiles à tous ceux de nos collègues qui s'occupent de la métallurgie du fer et de l'acier et qui ont à employer ces métaux dans des conditions de température très variables.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. G. Bélis, C. P. H. Bellet, E. Capdeville, E. L. Richard, E. A. Doiteau, comme membres sociétaires titulaires et de

M. P. M. A. Regnier, comme membre associé.

MM. F. Blondel, A. V. Brachotte, L. Cabanel, A. E. Leroy, L. Richard, E. J. P. Dumesnil, sont admis comme membres sociétaires titulaires.

**La séance est levée à 11 heures et demie.**

*L'un des Secrétaires techniques*
P. Schuhler.

# PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 19 MAI 1905

Présidence de M. Coiseau, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître les décès de MM. :

E. Chabardès, Ancien Élève de l'École Centrale (1873), Membre de la Société depuis 1881 ; a été Ingénieur à la Compagnie de Chemins de fer de Madrid-Saragosse-Alicante, puis Sous-Directeur, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction de cette même Compagnie;

E. Paillet, Ancien Élève de l'École d'Arts et Métiers d'Angers (1866), Membre de la Société depuis 1889, filateur de laine peignée;

A. Schlincker, Ancien Élève de l'École Centrale (1841) Membre de la Société depuis 1850, Maître de Forges;

Ed. Simon, Membre de la Société depuis 1868, Chevalier de la Légion d'honneur, Ingénieur-expert près les tribunaux, censeur de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, Secrétaire Général de l'Association des Industriels de France contre les Accidents du Travail, Membre du Comité en 1882-83-85-86-90-96-97-98-99, et Fondateur du Prix Michel Alcan. Le dévouement de M. Simon à la Société des Ingénieurs Civils de France se manifestait sous toutes les formes et on était toujours sûr, lorsqu'on faisait appel à son concours, de trouver auprès de lui des conseils les plus éclairés.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues, et en particulier à celle de M. Ed. Simon, l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des plus prochains Bulletins.

M. le Président dit que les Membres de la Société ont dû recevoir, il y a quelques jours, la circulaire donnant les premiers renseignements sur le voyage en Belgique, voyage qui sera certainement fort intéressant et très instructif. Il insiste pour que ceux qui désirent y prendre part, n'attendent pas le dernier délai du 25 juin pour se faire inscrire, et cela en vue de faciliter l'organisation de ce voyage.

M. le Président annonce que la Société internationale d'Economie sociale tiendra son XXIV[e] Congrès annuel, à Paris, du 21 au 30 mai 1905.

M. de Fréminville a la parole pour présenter quelques observations à propos de la Communication de M. Forestier, sur *le Goudronnage des routes*. Il donne lecture de la note suivante :

» La conférence de notre regretté Collègue, M. Forestier, sur la lutte contre la poussière et le goudronnage des routes, a donné lieu à quelques observations de différentes personnes, qui ont trouvé que la part qui doit revenir aux auteurs des premiers essais n'avait pas été suffisamment délimitée.

» M. Forestier eût certainement comblé cette lacune de très bonne grâce si son attention avait été attirée sur ce point, et nous demandons la permission de le faire à sa place.

» Le conférencier, après avoir énuméré les tout premiers essais, qui n'étaient pas encore de nature à faire adopter une ligne de conduite, et après avoir signalé, comme il convient, le rôle très important du Dr Guglielminetti dans sa campagne pour le goudronnage en faveur de l'hygiène, ne parait pas avoir fait une place suffisante à ceux qui ont étudié la mise en œuvre pratique du goudronnage. Il convient de rappeler, à ce sujet, le rôle de M. Sylvain Dreyfus et de M. Audouin.

» Dès 1902, M. Sylvain Dreyfus, Ingénieur des Ponts et Chaussées du Département de la Seine, désirant faire des essais d'une certaine importance, se mettait en rapport avec M. Audouin, Ingénieur de la Compagnie Parisienne du gaz, chargé du service des goudrons, et spécialement désigné, sur la demande de M. Dreyfus, pour étudier et mettre en œuvre les divers appareils à employer pour l'épandage.

» Les appareils étudiés à cette occasion, appareils rudimentaires et portatifs ou appareils plus importants, ont pu servir de modèles à tous ceux qui ont été faits depuis.

» C'est ainsi qu'après avoir déterminé les meilleures proportions à donner aux appareils de chauffage et aux arrosoirs, tant au point de vue du maniement qu'au point de vue de l'épandage, M. Audouin réalisait la première tonne d'épandage dont il faisait usage dès 1903. Cette tonne qui résout le problème d'une façon très complète est représentée par les figures 3 et 6 de la note de M. Forestier.

» Une disposition fort ingénieuse, étudiée par M. Audouin est celle qui est représentée par la figure 5 de la note de M. Forestier. Ce n'est pas à proprement parler une pomme d'arrosoir à trois trous comme un lapsus l'a fait dire, mais bien un appareil dans lequel trois jets, assez gros pour ne pas être engorgés facilement, sont épanouis en nappes régulières.

» Nous précisons d'autant plus volontiers ces quelques points de priorité, que les différentes personnes qui ont pris l'initiative de ces essais de goudronnage ont agi avec le plus grand désintéressement et pour le seul bien du public. »

M. le Président dit que la note de M. de Fréminville sera insérée au Procès-Verbal.

M. C. Birault a la parole pour sa communication sur *les Tunnels tubulaires en terrains aquifères et la traversée sous la Seine des nouvelles lignes du Métropolitain.*

Au moment où l'on va commencer la construction des premiers tun-

nels pour la traversée sous la Seine des nouvelles lignes du Métropolitain, M. Birault s'est proposé d'exposer les progrès réalisés dans ce genre de travaux, dans le cours de ces dernières années, et d'indiquer les données essentielles des grands ouvrages projetés dans Paris.

M. Birault résume tout d'abord l'état actuel de la question des tunnels tubulaires en terrains aquifères, tel qu'il lui paraît résulter de l'expérience des travaux antérieurs, et des considérations qui peuvent servir de guide dans les calculs d'établissement de ces ouvrages.

Il indique notamment les formules auxquelles il a été conduit pour le calcul des parois des tunnels à section circulaires. Elles sont analogues à celles qu'il a établies pour les conduites forcées et qui ont fait l'objet de sa communication, du 7 octobre dernier, sur les « Flexions des parois dans les tuyaux de conduites de grand diamètre ».

Ces formules vont fournir une justification assez inattendue de dispositions pratiques adoptées pour des raisons toutes différentes, et l'on y trouvera également des arguments nouveaux de nature à apporter quelques éclaircissements sur des points encore controversés.

En résumé, M. Birault partage sa communication en trois parties :

1° Considérations générales sur les tunnels tubulaires ;

2° Monographie de quelques travaux récents ;

3° Travaux des nouvelles lignes du Métropolitain et traversée sous la Seine.

1° *Considérations générales sur les tunnels tubulaires.* — M. Birault rappelle que dans sa remarquable communication de décembre 1897 sur la « Construction des souterrains par la méthode du bouclier », M. Amiot a montré les progrès réalisés depuis Brunel, l'illustre Ingénieur français qui créa cette méthode d'exécution des souterrains, en 1823, en Angleterre, jusqu'à la construction du tunnel de Blakwall, sous la Tamise, terminé en 1897, dans les brillantes conditions que l'on sait.

Quatre concurrents avaient été admis à soumissionner pour ces travaux, qui furent donnés à MM. Pearson and Son, et après avoir indiqué les offres des concurrents, parmi lesquels se trouvait M. Coiseau, M. Amiot a fait remarquer « qu'il s'en fallut de peu que notre très estimé Collègue n'en fût chargé, et que les deux grands tunnels sous la Tamise n'aient été, à cinquante ans de distance, construits par deux Français ».

Après avoir décrit les principaux ouvrages exécutés à l'étranger, en Angleterre et en Amérique, M. Amiot a indiqué ensuite les travaux exécutés en France. Les premiers sont ceux des siphons de Clichy et de la Concorde, entrepris par M. Berlier qui a vulgarisé en France l'emploi de la méthode du bouclier.

Cette méthode, modifiée pour la construction de voûtes en maçonneries dans des terrains n'exigeant pas l'emploi de l'air comprimé, a été ensuite appliquée par M. Chagnaud, puis par M. Fougerolle, dans leurs travaux du collecteur de Clichy.

Depuis lors, le bouclier a été fréquemment employé pour l'exécution des souterrains, surtout pour des ouvrages urbains situés à une faible profondeur, lorsque l'on doit éviter des tassements préjudiciables aux

immeubles riverains, et M. Lesourd décrivait récemment ceux dont on s'est servi pour l'exécution de la ligne métropolitaine n° 1.

Avant de communiquer les renseignements qu'il a été en mesure de se procurer sur des boucliers tout récents exécutés en Angleterre, M. Birault fait tout d'abord une étude générale des tunnels eux-mêmes, en exposant les considérations qui guident, dans le choix de la forme de section de l'ouvrage, les calculs des parois et les avantages comparés des différents types de revêtement.

La *forme de section* que l'on cherche à donner à un tunnel est évidemment celle qui enveloppe le mieux le gabarit des convois ou véhicules appelés à circuler à l'intérieur de l'ouvrage. C'est donc celle que l'on adoptera de préférence toutes les fois que des considérations de résis tance ou que les procédés d'exécution employés ne conduiront pas à s'en écarter.

Pour des souterrains traversant sous des fleuves, et qui sont par suite soumis extérieurement à des pressions d'eau importantes, qui peuvent en outre supporter de fortes charges de terres lorsque l'on traverse des couches sans consistance, le choix de la forme de section à adopter dépend de plusieurs considérations : nature des terres, pressions d'eau, procédés pratiques d'exécution de l'ouvrage.

La solution de ce problème est relativement simple lorsque l'on emploie la méthode d'exécution par *fonçage vertical* à l'air comprimé ou des procédés analogues. On constitue alors des parois très résistantes avec un revêtement métallique enveloppé dans un massif de maçonneries qui vient le renforcer extérieurement. Aussi arrive-t-on aux formes de sections les plus variées.

Pour les ouvrages exécutés par *cheminement horizontal*, par la méthode du bouclier, il est nécessaire d'avoir des parois le plus minces possible, afin de réduire le cube des déblais et les dimensions des boucliers. Ces parois n'ont plus alors une rigidité suffisante pour résister, dans de bonnes conditions, à des flexions importantes, avec les faibles épaisseurs que l'on donne généralement aux revêtements métalliques en fonte. Les considérations de résistance prennent alors la première place, et M. Birault montre que la forme circulaire est la plus convenable lorsque l'on ne peut pas compter d'une façon absolue sur la résistance du terrain pour réduire les fatigues dans le revêtement.

Il démontre que même dans les circonstances les plus favorables, lorsque l'on traverse des couches très compactes et que les injections de ciment au travers des panneaux du revêtement sont très bien faites, les fatigues dans le revêtement ne sont pas annulées, et qu'elles peuvent conserver une valeur notable dans le cas des revêtements métalliques, car des déformations élastiques extrêmement petites, et même pratiquement inappréciables, correspondent généralement à des coefficients de travail élevés. Le portage continu du revêtement contre les terrains environnants n'annule donc pas les déformations, et ce n'est que par une étude des réactions élémentaires qu'il exerce sur le revêtement que l'on peut évaluer dans quelle mesure les fatigues sont atténuées.

M. Birault indique une méthode de calculs approchée conduisant à des formules simples, avec la forme circulaire.

Il montre que dans ce cas, les moments de flexions dus au poids propre des parois et à la pression de l'eau sont *proportionnels à la force ascensionnelle*. Ils sont donc nuls en tous points lorsque la poussée est égale au poids propre, s'il n'y a pas de surcharges de terres. Et lorsque la poussée est supérieure au poids propre, ce qui est le cas général avec les revêtements métalliques, il y a intérêt à *donner de la masse au tube*. C'est ainsi qu'au tunnel de Blakwall les flexions dues au poids propre et à la pression de l'eau sont réduites de plus de 50 0/0, du seul fait du remplissage intérieur en béton de ciment exécuté entre les nervures des panneaux en fonte.

M. Birault étudie ensuite la question des joints boulonnés, puis la stabilité générale de l'ouvrage, dans le sens longitudinal, lorsque la poussée surpasse en certain points les charges verticales totales : poids propre et charges des terres, ce qui est arrivé au tunnel de Blakwall pendant sa construction.

Puis il passe en revue les *principaux types de revêtement*, en fonte, en fer ou acier laminé, en maçonneries, en béton armé.

Enfin il indique les données générales du *bouclier* construit récemment pour l'exécution du souterrain de Rotherhithe sous la Tamise à Londres. Cet engin pèse 270 t et c'est le plus grand bouclier construit jusqu'à ce jour.

Il décrit le bouclier à fouille mécanique système Price, employé aux travaux de contruction du Brompton and Piccadily circus, à Londres.

2° *Monographie de quelques travaux récents*. — M. Birault décrit le *tunnel de Rotherhithe* actuellement en construction et qui est le plus grand ouvrage à section circulaire que l'on ait entrepris. Son diamètre extérieur est de 30 pieds, soit 9,144 m. L'épaisseur des plaques de revêtement en fonte atteint 57 mm et les nervures de boulonnage ont 356 mm de hauteur.

Puis il mentionne les tunnels exécutés ou en cours de construction, à New-York, sous les différents bras de l'Hudson : North River, East River, Harlem River, en indiquant les particularités des procédés d'exécution employés, notamment pour ce dernier ouvrage, où l'on n'a pas employé la méthode du bouclier.

3° *Travaux des nouvelles lignes du métropolitain et traversée sous la Seine*. — M. Birault décrit les travaux des nouvelles lignes métropolitaines qui vont traverser sous la Seine, et spécialement les ouvrages adoptés à la traversée du fleuve.

Cette traversée s'effectuera par la méthode du bouclier, par deux galeries jumelées, à section circulaire, de 5 m de diamètre intérieur, pour la ligne Nord-Sud, de *Montmartre à Montparnasse*, concédée à MM. Berlier et Janicôt.

Pour la *ligne n° 4, de la Porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans*, les travaux mis au concours à la date du 17 décembre dernier ont été adjugés à notre collègue M. Chagnaud. Ils comprennent, sur 1.100 m environ de longueur, la ligne et les stations de la Cité et de la Place St-Michel. La ligne et les stations seront à souterrain unique. On emploiera la méthode par cheminement horizontal avec bouclier pour les

tunnels d'accès et pour la partie située dans l'Ile de la Cité. La traversée du fleuve s'effectuera par fonçage vertical au moyen de trois caissons foncés successivement dans le grand bras, et de deux caissons dans le petit bras. La station de la Cité et les puits d'accès seront également foncés sur caissons. A la traversée de la ligne du Chemin de fer de Paris-Orléans, sous le quai St-Michel pour éviter tout tassement, on emploiera la méthode par congélation.

M. Birault termine en donnant quelques renseignements sur la ligne n° 8, *Auteuil-Opéra* qui traverse deux fois la Seine, et sur la ligne n° 5, *Boulevard de Strasbourg-Pont d'Austerlitz* qui longe le canal St-Martin jusqu'à la berge rive droite du fleuve.

M. A. de Bovet dit qu'il est assez étrange de voir employer le bouclier pour l'exécution du tunnel jusqu'au droit du lit de la Seine et de le remplacer, pour la traversée du fleuve, par le procédé de fonçage par caisson qui constituera, pour la navigation, un obstacle d'autant plus sérieux que ce travail doit être exécuté au voisinage immédiat du pont Notre-Dame.

M. de Bovet regrette que les Sociétés de Navigation n'aient été consultées qu'après que le projet était, en principe, adopté. Paris est le premier port de France au point de vue du tonnage. S'il n'y a pas de difficulté technique particulière, et si on n'a eu en vue qu'une économie, peut-être problématique, il est fâcheux que l'on ait choisi un procédé qui entravera, dans des proportions considérables, l'exercice d'une industrie qui cependant contribue pour une large part à la prospérité commerciale de la ville.

M. C. Birault dit que tout en étant plus économique, le procédé adopté a permis de remonter la cote du rail de 3 mètres. Cet avantage a semblé devoir l'emporter sur les inconvénients signalés par M. de Bovet.

M. L. Chagnaud tient à rassurer M. de Bovet. La navigation ne sera jamais gênée. Le lit du fleuve restera toujours libre dans le grand bras sur au moins 70 mètres. Cet encombrement du cinquième du fleuve ne durera pas plus d'un mois pour chaque tronçon et cela pendant la période des chômages d'été. En outre, les travaux ne seront pas exécutés sur le grand bras et le petit bras simultanément.

Si on capitalise les économies que le relèvement de la cote du rail permettra à l'exploitation de réaliser, on trouve une somme de 4 000 000 de francs. On ne peut reprocher à la commission d'avoir tenu le plus grand compte des considérations économiques et humanitaires pour le travail dans une moindre pression d'air comprimé.

M. de Bovet reste convaincu que, contrairement à l'avis de M. Chagnaud, la navigation sera extrêmement gênée, probablement partiellement arrêtée. La raison d'économie ne lui parait pas suffisante et il regrette que l'on n'ait pas adopté un autre projet, M. Chagnaud lui-même en ayant présenté plusieurs.

M. le Président remercie M. Birault de sa communication si intéressante, si concienciеusement étudiée et qui sera consultée avec fruit par tous ceux qui s'occupent de ces travaux.

Il félicite M. Chagnaud et lui souhaite bonne réussite dans l'œuvre qu'il a entreprise.

M. H. JULLIOT a la parole pour sa communication sur *le Dirigeable Lebaudy.*

M. H. JULLIOT divise sa communication en quatre parties :

1° Dans la première partie, il indique que les éléments dont la réunion a été nécessaire pour obtenir un résultat sont :

*a)* Un bon projet; M. Julliot s'y est employé personnellement;

*b)* Un métal donné d'une résistance telle qu'il puisse être employé sous de faibles poids : l'acier à 12 0/0 de nickel recuit à 100 kg de résistance à la rupture, et à 18 0/0 d'allongement;

*c)* Un transformateur d'énergie léger : l'industrie automobile, stimulée par des courses dans lesquelles le poids de la voiture ne peut dépasser 1 000 kg, fournit des moteurs de plus en plus légers;

*d)* Les sommes considérables nécessaires : MM. Paul et Pierre Lebaudy les ont mises généreusement à la disposition de leur directeur technique, M. Julliot, avec leurs organisations technique et administrative.

M. Surcouf, ingénieur aéronaute, s'est offert à piloter les premières ascensions, qui ont eu lieu en octobre et novembre 1902. Depuis, le *même* dirigeable piloté par MM. Juchmès et Rey, doté chaque hiver d'améliorations, a fait *63* ascensions, et va incessamment entamer une nouvelle campagne.

2° Dans la deuxième partie, M. Julliot, décrit le dirigeable et son garage habituel, il estime que le présent est au *Ballon*, et l'avenir aux *Gros Ballons.*

*a) Gaz.* — Il emploie l'hydrogène à 1 180 de force ascensionnelle qu'il obtient par l'appareil générateur continu bien connu, et qu'il épure très soigneusement pour le débarasser de l'acide sulfurique et de l'hydrogène sulfuré qui seraient pernicieux pour l'enveloppe, des hydrogènes arsenié et phosphoré, qui seraient dangereux pour le personnel, des carbures qui augmenteraient la densité du gaz, de l'acide carbonique. Le gaz est vérifié dans une balance; il est inodore à tel point que, pour reconnaître les fuites, il est parfumé avec de la muronine.

*b) Enveloppe.* — L'étoffe qui la constitue est composée de deux couches de caoutchouc alternant avec deux tissus, le tissu extérieur est teint en jaune inactinique pour préserver le caoutchouc de l'action de la lumière. La rigidité de l'enveloppe est obtenue par une pression égale à 20 mm d'eau, maintenue par le moyen classique du ballonnet intérieur de 500 m³ dans lequel un ventilateur actionné par le moteur du dirigeable peut envoyer de l'air.

*c) Forme de l'enveloppe et dimensions.* — La forme adoptée consiste en un demi-fuseau antérieur complet, c'est-à-dire conservé jusqu'à son extrême pointe qui avance dans l'air en en écartant les molécules avec un minimum de résistance et de travail; ce demi-fuseau à 24,90 m de longueur. Il est suivi d'une autre portion de fuseau à très grand rayon qui fournit des sections décroissantes masquées par le maître-couple qui a 9,80 m de diamètre. L'enveloppe se termine par une partie ellipsoïdale.

La partie arrière à 32,85 m de longueur; le ballon a donc 57,75 m, et son allongement est de 5,89 m. M. Julliot indique qu'on pourra dans l'avenir augmenter cet allongement. Ces dimensions donnent un cube de 2 666 m suffisant pour enlever un peu plus de 3 000 kg.

Les organes de stabilisation et de direction comportent: des plans fixes horizontaux et verticaux; des plans mobiles, les uns à génératrices horizontales, et l'autre vertical. M. Julliot décrit leur construction.

*d) Propulsion.* — Elle se fait par deux hélices, commandées par un moteur à essence Mercédès, trente poncelets, à quatre temps, quatre cylindres. Le pot d'échappement est placé sous la nacelle vers l'arrière, loin des fuites possibles d'hydrogène.

De même le réservoir d'essence est sous la nacelle.

Les hélices à deux branches sont placées symétriquement à droite et à gauche du milieu du ballon; elles tournent symétriquement en sens inverse l'une de l'autre.

M. Julliot attribue à cette disposition beaucoup d'avantages, et est d'avis de faire tourner les hélices à vitesse relativement grande. A 1 030 tours la vitesse propre du ballon est de 11 m par seconde, soit 40 km à l'heure. La transmission entre le moteur et les hélices est aussi simple que possible, et à cet effet, l'axe des hélices est placé à la hauteur de celui du moteur. M. Julliot indique l'intérêt qu'il y aurait à le rapprocher de celui du ballon.

*e) Nacelle.* — La nacelle a la forme d'un petit bateau à fond plat de 1 600 m de largeur, 4 800 m de longueur, et 0,800 m de hauteur. La nacelle qui constitue une poutre chargée en son entier est renforcée par des tubes formant pyramide, dont le sommet étant plus bas que les hélices touche le sol aux atterrissages.

La nacelle porte à l'avant soit un appareil photographique, soit un phare à acétylène dissous.

M. Julliot donne la description du garage de Moisson doté d'une foule d'accessoires, atelier, fosse pour l'entretien et la visite de la partie mécanique, etc...

3° M. Julliot fait ensuite l'historique des ascensions et voyages du dirigeable. Il rappelle les nombreux essais qui, en octobre et novembre 1902 ont été faits, d'abord sous le hangar, puis à l'extérieur amarré par une corde, essais destinés à prouver que les précautions contre l'incendie étaient suffisantes, que le ballon au repos était bien équilibré, que le plan horizontal jouait son rôle stabilisateur, et que la propulsion paraissait devoir être bonne.

C'est le 13 novembre que la première ascension libre fut tentée; elle eut lieu sans incidents, à la grande satisfaction de tous; le dirigeable piloté par MM. Surcouf et Julliot revint au hangar sans corde.

Le froid de décembre 1902 suspendit les expériences jusqu'au printemps 1903.

Dans le cours de 1903, le dirigeable a fait vingt-sept ascensions libres conduites par MM. Juchmès et Rey. Le 8 mai il fit son premier grand voyage de Moisson-Mantes-Moisson avec plein succès. Le 24 juin, le dirigeable effectua un parcours de 98 km en deux heures quarante-six

minutes. Le 12 novembre 1903, un an moins un jour après sa première sortie libre, le dirigeable arrivait au Champ-de-Mars faisant, en une heure quarante et une minutes, 62 km.

Il en repartait le 19 pour le parc de Chalais, où il fut précipité par le vent sur un arbre et l'enveloppe fut crevée.

On profita de la réfection de l'enveloppe pour augmenter le cube du ballon et du ballonnet, la puissance du ventilateur. Le dirigeable a été prêt le 4 août 1904, trente ascensions ont été faites en 1904.

4° M. Julliot envisage pour son dirigeable des applications immédiates d'ordre sportif et d'ordre militaire. Il s'étend surtout sur les grands services que peuvent rendre en offensive militaire de tels appareils, capables de porter et de jeter trente projectiles de 10 kg d'explosif.

M. Julliot ne voit de difficultés pour une telle opération que dans le ravitaillement et le campement des dirigeables; la campagne d'essais qui va commencer permettra de les surmonter.

M. Julliot étudie actuellement un modèle plus puissant et plus rapide destiné à un service de reconnaissance.

M. le Président, dit que M. Julliot a pu voir par les applaudissements qui ont salué sa communication, combien il avait intéressé ses collègues. M. Julliot a montré avec quel soin toutes les parties de son dirigeable ont été étudiées, et quelles difficultés il a eu à surmonter. M. le Président le remercie et le félicite de ses beaux travaux.

M. le Président adresse également les félicitations de la Société des Ingénieurs Civils de France à MM. Lebaudy qui, par leur libéralité intelligente, ont permis à un Ingénieur éminent de faire faire un grand pas à la navigation aérienne et ce tout à l'honneur de la science française.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. X.-P. Aubert, D.-C. Comberousse, H.-A. Dide, H. Jubeau, E.-E. Rivière, A. Roudy, comme Membres Sociétaires Titulaires.

Et de MM. E. Borgel et P.-P. Corbin, comme Sociétaires Assistants.

MM. G. Bélis, C.-P.-H. Bellet, E. Capdeville, E.-A. Doiteau, E.-L. Richard sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires et

M. P.-M.-A. Régnier comme Membre Associé.

**La séance est levée à 11 heures trois quarts.**

*L'un des Secrétaires techniques,*
P. Schuhler.

# L'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE DES FORCES HYDRAULIQUES

## ET LEUR LÉGISLATION

PAR

M. E.-F. COTE

---

Les lois qui réglementent une industrie ont, comme vous le savez, Messieurs, une influence prépondérante sur sa vitalité : de la concordance ou de l'opposition entre ces lois et les faits d'économie politique jalonnant la voie du progrès dans cette industrie, résulte pour elle la prospérité ou le marasme. Cette vérité est d'observation constante et il me suffit de vous la rappeler pour qu'elle domine dans votre esprit toute autre préoccupation touchant le problème que nous allons aborder. Elle s'étend à toutes les sphères d'activité industrielle et par conséquent à celle des forces hydrauliques dont le rayon grandit sans cesse et si rapidement.

Au moment donc où le Législateur s'apprête à édifier, sur la base d'une loi nouvelle, le Code de la jeune industrie, nous devons, nous techniciens, bien sonder les conséquences des dispositions législatives qui vont régir nos opérations et dire si elles sont conformes aux lois économiques qu'on peut méthodiquement dégager des résultats acquis dans la mise en œuvre de nos richesses hydrauliques.

Pour voir si cette condition d'importance primordiale est remplie par la loi soumise au vote des Chambres, la logique veut, il me semble, que nous nous fassions d'abord une idée nette de ces lois constituant ce qu'on peut appeler aujourd'hui « l'Économie des chutes d'eau ». A la lueur de cette idée nous verrons mieux ensuite ce qu'il faut faire, ou ne pas faire, pour tendre à la meilleure utilisation de nos forces hydrauliques.

Je diviserai donc ma communication en deux parties : la première traitera successivement de la mise en œuvre, de la possession et de la meilleure utilisation de la puissance dynamique de nos cours d'eau; et la seconde aura trait à l'économie générale du projet de loi et à ses conséquences.

## ÉCONOMIE DES CHUTES D'EAU

### § 1. — Mise en œuvre des forces hydrauliques.

Le Rhône qui depuis sa sortie du lac de Genève jusqu'à Lyon présente une chute totale de 225 m et possède un débit moyen de 200 m³ au moins, recèle en cette partie de son cours 600 000 ch au bas mot. De cette colossale puissance, les usines de la Coulouvrenière, de Chèvres et de Jonage ne mettent ensemble que 40 000 ch en évidence. Où sont donc les 560 000 autres? Ils existent bien, mais que font-ils ? Nul travail extérieur au fleuve ne décèle leur présence ! Et, d'autre part, d'où viennent-ils ? Puis, quand on les capte dans une usine hydraulique, à qui appartient le travail qu'ils donnent sur l'arbre des turbines ? Voilà des questions qu'on pose peu.

Messieurs, vous y avez déjà répondu. Mais je vois derrière vous des jurisconsultes écoutant ce qui se dit dans cette enceinte sur un problème qu'ils croient avoir résolu par le seul moyen de ses données juridiques et ma façon de le poser les déconcerte. Ceci prouve la nécessité d'aller au fond des choses avec l'aide de quelques notions élémentaires de mécanique rationnelle et de physique générale.

Considérons donc le phénomène de l'écoulement dans un cours d'eau. Pendant un instant donné, un certain volume d'eau passe d'un niveau amont à un niveau aval. Supposons que ce passage s'opère sur un chemin sans frottement. La vitesse de la masse liquide soumise à l'action constante de la pesanteur va s'accélérer et au niveau inférieur l'eau aura acquis une *force vive* proportionnelle au carré de la vitesse atteinte à ce niveau. Cette *force vive* donne la mesure du *travail mécanique*, autrement dit de la quantité *d'énergie*, effectué par la masse liquide dans son passage du niveau supérieur au niveau inférieur. Or, *quel que soit le chemin suivi* par l'eau entre ces deux niveaux, *le travail en question est intégralement produit.* Dans le lit du cours d'eau la vitesse tend à s'accélérer comme sur un chemin sans frottement: mais les aspérités des rives et du fond, les tourbillons et les remous créent des frottements qui grandissent comme la vitesse et annulent toute accélération. Il s'établit ainsi, dans le cours

d'eau, un *régime d'écoulement* à vitesse constante. Au niveau inférieur, l'eau ayant alors une vitesse beaucoup plus faible que celle qu'elle aurait sans ces frottements ne possède plus qu'une *force vive* représentant une très faible fraction du *travail mécanique* effectué entre les deux niveaux. La différence qui constitue donc la partie massive du *travail* produit par l'eau courante dans le lit de la rivière, est absorbée par les frottements sur le fond, les rives et les remous. Elle n'est pas détruite mais transformée en chaleur que dissipent les rives et l'eau.

Supprimons ces frottements en faisant passer l'eau dans un canal de forme quelconque, pourvu qu'il soit à parois n'offrant point de résistance au courant liquide, et la *force vive* qu'ils absorbaient devient disponible; un moteur hydraulique pourra la recevoir et la mettre sous forme de travail utilisable industriellement sur son arbre.

*L'énergie mise en œuvre dans une chute hydraulique est donc celle qui était perdue par le frottement de l'eau sur les aspérités du lit dans la section de la rivière occupée par la chute.* Celle-ci est la *machine*, essentiellement formée d'un canal sans frottement et d'un récepteur hydraulique de *force vive*, qui opère la transformation de cette énergie en travail industriel. Entre parenthèses, cela m'amène à dire que, par le néologisme « houille blanche » aujourd'hui si universellement adopté, nous devons entendre : *l'énergie se dissipant* dans le lit des cours d'eau qui est mise par l'industrie *sous forme de travail utile.*

Analysons encore de plus près le mécanisme de l'utilisation industrielle de cette *force vive*. Des sources à l'embouchure d'un cours d'eau le régime d'écoulement, comme nons venons de le voir, existe tel qu'en chaque point la vitesse, dépendant de l'inclinaison et des aspérités du lit, ne peut se modifier d'elle-même parce qu'il se crée partout un équilibre stable entre la *force vive* et le frottement. Si l'on supprimait ce dernier sur une certaine longueur, sans le remplacer par rien d'équivalent, la vitesse augmenterait puisque rien n'absorberait plus la *force vive* proportionnelle au carré de cette vitesse. Le régime d'écoulement serait donc troublé, non seulement sur la longueur considérée, mais encore à l'amont et surtout à l'aval. C'est, par exemple, ce qui a lieu dans une cascade. Seulement, qu'on remplace le frottement supprimé sur cette longueur du lit de la rivière par la quantité équivalente de *travail mécanique* versée sur

le récepteur hydraulique d'une chute, et la vitesse de l'eau, tant au point où elle entre dans cette *machine* qu'à celui d'où elle en sort, sera la même qu'elle serait en ces deux mêmes points si la chute n'existait pas.

La quantité d'énergie que l'on peut recueillir entre l'amont et l'aval d'une chute hydraulique comprend donc *seulement* la *force vive* de la masse liquide tombant d'une hauteur égale à la dénivellation réalisée par la chute. Le *travail* théoriquement utilisable sur le récepteur hydraulique et dont cette *force vive* donne la mesure a, comme vous le savez, pour expression : le produit du *débit* par la hauteur de chute, produit lui-même appelé *puissance* de la chute. C'est le maximum qu'on puisse recueillir; pratiquement il faut en déduire la perte de travail correspondante à la perte de hauteur de chute par suite de la pente qu'il faut donner au canal pour y faire couler l'eau.

Ainsi la *force vive* que possède l'eau dans son cours naturel à l'amont d'une chute ne fournit aucun appoint de puissance à celle-ci, et le *travail mécanique* de l'eau utilisée par une chute n'enlève point d'énergie au cours aval de la rivière. *Une chute hydraulique utilise la puissance dynamique d'un cours d'eau uniquement dans la longueur du lit qu'elle occupe et ne modifie pas le régime d'écoulement à l'amont ni à l'aval.* Cette vérité était à établir puisque des jurisconsultes parlant *ex professo* l'ont ignorée !

Maintenant que nous savons par quel mécanisme s'opère l'utilisation de la puissance dynamique des cours d'eau, cherchons *l'origine* de cette puissance. Elle n'est point tout à fait où le plus grand nombre parmi nous le suppose et, quand on en connait la source, les idées qu'on se fait sur sa prise de possession par les usiniers s'orientent dans un sens unique et absolument fixe.

Pour être plus clair en ces questions où se mêle un peu de philosophie, je vais me servir d'un exemple. Considérons une machine motrice essentiellement composée d'un réservoir élevé, étanche et de capacité assez grande, d'un canal conduisant l'eau sous pression de ce réservoir sur une turbine, d'un bassin de grandeur indéterminée où vient l'eau à la sortie de la turbine et enfin d'un appareil à distiller puisant l'eau dans ce bassin inférieur et la déversant par son condenseur dans le réservoir supérieur. Les choses sont calculées pour que toute l'eau qui, dans un certain intervalle de temps, passe du réservoir supérieur dans le bassin inférieur en actionnant la turbine puisse être remon-

tée dans le même temps par l'appareil à distiller. Le fonctionnement de ce dernier n'a pas besoin d'être d'une régularité parfaite : le réservoir supérieur est d'une capacité suffisante pour assurer la marche à peu près régulière et permanente de la turbine, malgré des à-coups dans le réapprovisionnement. Ne nous inquiétons pas du rendement déplorable de cette machine d'un nouveau genre... nous ne payons pas le charbon ni le mécanicien !

Il serait enfantin, Messieurs, de vous faire remarquer que le travail développé sur l'arbre de la turbine est, aux rendements près du système, l'équivalent de l'énergie mise en activité sous forme thermique par la combustion du charbon dans le foyer de l'appareil à distiller. *Cette machine, comme toute machine thermique, transforme de la chaleur en travail mécanique.* L'eau est ici l'agent matériel qu'emploie l'énergie pour cette transformation, absolument comme dans une machine à vapeur; la seule différence est qu'on n'applique pas la force élastique de l'eau en vapeur à des organes qui soient semblables pour mettre l'énergie dépensée sous la même forme de mouvement mécanique : la rotation d'un arbre. Cette différence à part, il y a donc identité complète entre ces deux machines *à vapeur.*

Or, cet ensemble d'appareils : réservoirs, canal et turbine, machine à distiller, est l'exact schéma d'un système que la nature a réalisé d'une façon grandiose. Le réservoir supérieur, vous l'avez compris, c'est le bassin d'alimentation de la rivière sur laquelle on installe des usines hydrauliques essentiellement composées de canaux où l'eau sous pression coule aux turbines motrices; ce bassin d'alimentation est formé par les montagnes où se condensent en pluie, neige ou glace, suivant les altitudes et les saisons, les nuages évaporés de la mer. Celle-ci constitue le bassin inférieur d'où le soleil remplissant l'office du foyer de l'appareil à distiller, élève l'eau en vapeurs que les courants atmosphériques dirigent sur le continent. Si à quelques-uns l'analogie ne paraît point évidende, du moins conviendront-ils que toute l'eau qui passe dans une chute hydraulique quelconque est remontée par évaporation solaire au niveau supérieur où les précipitations atmosphériques la remettent en état de réutilisation dynamique.

Nous nous trouvons ainsi amenés à cette constatation, quelque peu paradoxale au premier abord, qu'une chute d'eau est une machine faisant partie d'un vaste *appareil hydraulique* qui opère

la transformation d'une certaine quantité de chaleur solaire en travail mécanique ! Cela est cependant une pure réalité de la Thermodynamique.

Dans ces conditions, il apparaît de suite que cette énergie est *gratuite*, mais non *obligatoire* !... car nul n'est tenu à mettre sous fome de travail utile la *force vive* perdue en frottement par l'eau dans le lit de la rivière qui borde son champ. Cette énergie est donc gratuite, comme elle l'était dans la machine plus haut considérée où nous avons dit que nous ne payions pas le combustible, comme elle le serait également dans nos machines à vapeur si le charbon ne coûtait rien. De plus, cette énergie solaire recueillie sous forme de mouvement de rotation sur l'arbre d'une turbine est *inépuisable*: s'il n'était d'autres considérations que je développerai plus loin, on pourrait ne pas s'inquiéter de la rendre presque *obligatoire*, économiquement parlant.

L'énergie recueillie sur le volant d'une machine à vapeur est bien aussi, en définitive, une forme de l'énergie solaire; mais dans le foyer de la machine on use de cette énergie comme de celle d'une batterie d'*accumulateurs* électriques dans un électromoteur. Elle a été *accumulée* dans le charbon de nos mines, à l'époque où s'exerçait l'action chlorophyllienne des feuilles par lesquelles s'élaborait le carbone dans les arbres, aux temps préhistoriques de la formation de nos gisements houillers. Toute combustion de houille noire est une décharge de cet accumulateur d'énergie solaire à capacité finie. Au contraire, toute mise en œuvre de *houille blanche* est l'utilisation *immédiate* d'une partie infiniment petite de la puissance solaire. Or, l'accumulateur d'énergie que sont nos mines de charbon se décharge avec une rapidité croissante et il ne se recharge pas; son épuisement doit donc être réglé avec une sage lenteur. L'énergie solaire, malgré la notion certaine que nous avons de la *dégradation de l'Énergie* dans l'Univers, ne nous inspire aucune crainte touchant la durée de son émission: tant que sur notre globe ne s'effritera pas sensiblement la montagne supportant la chute hydraulique, nos descendants des siècles futurs pourront utiliser cette forme « houille blanche » de l'activité solaire qu'on peut considérer comme étant pratiquement inépuisable.

Mais cette *force vive* de l'eau courante perdue en frottements dans le lit des rivières et des fleuves opère une détérioration lente. quoique incessante, de notre *appareil hydraulique*. Si l'*énergie* du

système solaire reste invariable dans le temps que nous pouvons considérer, les organes qu'elle emploie pour se manifester sous ses différentes formes s'*usent* d'une manière nettement perceptible. C'est ainsi que le niveau des bassins supérieurs de notre appareil hydraulique s'abaisse par dégradation résultant du jeu des précipitations atmosphériques, du ruissellement, du *travail* de l'eau courante qui roule vers la plaine des débris de la montagne. On a évalué à 100 000 t au moins, par an, les débris qu'arrachent aux flancs des Pyrénées les ruissellements dont sont formés les affluents de la Garonne et qui sont déposés à l'embouchure de la Gironde. La plaine s'exhausse, pendant que la montagne s'abaisse, et la puissance des chutes décroît : 1° de la moindre quantité d'eau mise en circulation par cet appareil qui s'use, et 2° de la perte de hauteur résultant de la nivellation inapparente, mais certaine, du plan d'écoulement. D'où une *dégradation* continue de l'Énergie sous la forme considérée.

Nous ne pouvons pas complètement l'empêcher, *mais nous pouvons du moins la ralentir*. Si, par exemple, sur toutes les rivières où la *force vive* du courant est employée à rouler vers la mer des volumes incalculables de roches arrachées au flanc des montagnes, on disposait les organes voulus, la forêt d'abord pour empêcher cette dégradation du plan d'écoulement, et la chute ensuite pour utiliser industriellement cette *force vive*, on retarderait, sans aucun doute, l'usure de *l'appareil hydraulique*. C'est donc en le faisant servir à nos besoins grandissants d'énergie que nous prolongeons la durée de cet appareil. Messieurs, vous remarquerez que c'est juste l'inverse de ce qui se passe avec notre *accumulateur à houille noire* d'énergie solaire. Et j'en voulais venir à cette conclusion : c'est qu'il faut mettre en œuvre le plus possible de nos forces hydrauliques dans le double but de ralentir la décharge de notre accumulateur d'énergie solaire et de retarder l'usure de notre appareil hydraulique.

## § 2. — Possession des forces hydrauliques.

Il apparaît maintenant, avec la dernière évidence, que la *chute hydraulique*, machine utilisant la *force vive* de l'eau, appartient au possesseur du sol où passe cette l'eau, et que l'énergie utilisée revient en toute propriété au créateur de la chute et à lui seul. En effet :

1° Au lieu de laisser la *force vive* de l'eau qui traverse son fond

se perdre sans profit pour lui, *ni pour personne*, sur les cailloux qu'elle roule, le propriétaire de ce fond a bien le droit de mettre, dans les limites de son champ, cette *force vive* sous forme de *travail utile* par le moyen de la création d'une chute;

2° Cela faisant, ce propriétaire, devenu usinier, n'utilise que l'énergie qu'il est possible de *recueillir* sur son propre sol puisqu'elle a pour valeur *uniquement* le produit du débit par la hauteur de chute réalisée entre l'amont et l'aval du champ et ne comprend rien de ce qui revient aux voisins d'amont, ni d'aval;

3° Cette énergie est mise à la disposition de l'homme gratuitement par la nature, c'est-à-dire qu'une fois que la machine qui l'approprie à nos besoins est créée, il n'est plus besoin d'un effort humain pour la faire marcher, comme cela est nécessaire avec la machine à vapeur où le bras de l'homme doit amener le charbon du fond de la mine au foyer de la chaudière. Celui qui emploie de la « houille blanche » n'est donc redevable de travail à aucun mineur — si ce n'est le Soleil, ouvrier universel;

4° C'est une énergie dont le foyer est intarissable, à l'inverse de ce qui a lieu avec la houille noire; en la faisant servir à notre usage dans la plus large mesure possible, nous ne gaspillons rien de ce que nous devons transmettre à nos descendants.

En résumé, *l'énergie mise en œuvre par une chute hydraulique est l'utilisation mécanique d'une infinitésimale partie de l'activité solaire qui entretient tout mouvement à la surface de notre globe, et cette énergie, sur une portion de sol, appartient au propriétaire de cette surface, absolument au même titre que la chaleur et la lumière solaires qui y font mûrir la vigne ou pousser le houblon.*

Mais il y a plus! Nous venons de voir que brûler du charbon, c'est décharger un accumulateur d'énergie que chaque génération livrera plus épuisé à la suivante, tandis qu'aménager industriellement la puissance dynamique des cours d'eau, c'est à la fois ralentir la décharge de cet accumulateur et retarder l'usure de notre *appareil hydraulique*. Celui qui emploie de la « houille blanche » non seulement *ne dégrade* point d'énergie dans la sphère d'activité où se meut le monde industriel, mais encore il en assure la conservation pour les générations futures. Tout, dans l'économie de ce monde industriel, doit donc tendre à développer l'initiative des propriétaires de forces hydrauliques.

Les chutes d'eau et l'énergie qu'elles livrent à l'industrie ap-tiennent ainsi aux riverains des rivières et des fleuves. Or

sont ces riverains? En est-il de plusieurs catégories et quels sont leurs besoins?

Au temps de la féodalité, tous les cours d'eau appartenaient au prince. Mais déjà bien avant la Révolution, durant l'époque où se fit le morcellement des grands fiefs, le Droit civil en évolution distingua parmi les cours d'eau ceux qui étant, selon le mot de Pascal, « des chemins qui marchent » pouvaient être considérés comme une chose dont l'usage est commun à tous. Ils cessèrent d'appartenir aux seigneurs comme étant les principales voies de communication entre les diverses provinces de la France qui s'unifiait. — Mais les rivières dont le cours était trop rapide ou le débit insuffisant pour permettre la navigation ou simplement le flottage furent considérées comme n'étant d'aucune utilité publique et la libre disposition en resta à ceux dont elles baignaient l'héritage. Le droit sorti de la Révolution n'a fait que donner une forme définitive à ce classement des cours d'eau en : 1° navigables et flottables, et 2° non navigables ni flottables. Le Législateur a donné les premiers à l'État, en lui attribuant sur eux tous les pouvoirs, et il a laissé les seconds à leurs riverains. Sur ces derniers l'État n'a que les droits de police générale qui sont sa propre raison d'être pour la conservation de l'ordre public et c'est la nécessité même de cette police qui justifie et limite l'intervention de l'État dans l'emploi qu'on peut faire de leur eau.

Notre Code civil de 1804 n'a pourtant pas précisé à qui appartenait le lit même des cours d'eau de la deuxième catégorie qu'il créait. En 1808, on commença un Code rural, qui ne fut déposé au Parlement qu'en 1880, et dont la discussion dure encore. Ce fut seulement le 8 avril 1898 que, seuls, les quatre premiers titres d'une loi sur le régime des eaux (fraction du Code rural) furent votés et promulgués. Cette loi, quoique incomplète, *confirmant la jurisprudence constante de tout un siècle*, reconnaît formellement aux riverains la propriété du lit des cours d'eau non navigables ni flottables; en particulier son article 9 limite encore très nettement, à la police générale dans le simple but d'une conservation nécessaire, les droits de l'État sur ces cours d'eau.

*Juridiquement le lit des cours d'eau de la deuxième catégorie est donc la propriété de leurs riverains*, cela n'est plus discuté par personne. Or, depuis les origines de l'appropriation du sol par les individus, les terres traversées par des eaux courantes ont pris une valeur

en rapport avec les avantages ou les inconvénients que leur procure l'existence de ces eaux. Il est de cela comme de toute terre suivant sa latitude et son exposition au soleil qui la rendent propice à la culture de maigres céréales ou bien de la vigne aux crus précieux. Mais dans la valeur du champ que traverse ou borde une rivière, il y a quelque chose de plus encore. La rivière est manifestement la résultante d'un phénomène physique : l'écoulement vers la mer des précipitations atmosphériques qui, comme tout phénomène, obéit à des lois. L'une d'elles veut que l'érosion des pentes où l'eau ruisselle abaisse le plan des sources et exhausse le lit à l'aval ; une autre veut que le courant liquide, suivant toujours le chemin de moindre résistance, tende sans cesse à déformer son lit pour abattre les obstacles de la rive qui s'opposent au passage le plus court. Au total, ces lois naturelles tendent sans cesse à modifier le profil et le plan du lit. Donc, si l'eau est un élément de richesse pour la terre qu'elle baigne, il faut que le riverain lutte contre ces lois pour maintenir cette richesse en état d'utilisation. Il faut qu'il lutte pour la conservation des sources, en empêchant l'érosion des pentes, contre l'approfondissement, l'ensablement ou le changement de direction du lit par d'incessants travaux d'amélioration du courant ou de défense sur les rives qu'il entame. Or, Messieurs, cette *lutte pour et contre l'eau* n'est point un travail négligeable. Demandez à ceux qui s'occupent d'hydrologie quelle somme d'efforts il exige pour parer aux méfaits de l'eau dont souffrent certaines régions de notre territoire, le massif pyrénéen notamment. Dans la valeur de la terre, qui a conservé ou amélioré sa jouissance de l'eau courante, entre ainsi pour une bonne part le *gain accumulé* de cette lutte permanente pour et contre l'eau.

On peut donc ajouter que le lit des cours d'eau non navigables ni flottables appartient à leurs riverains par droit *d'héritage et de conquête*. Par conséquent, leur puissance dynamique est l'incommutable propriété de ceux dont il traverse ou borde les fonds. Celui qui utilise cette puissance au droit de son fond fait une opération de même nature identiquement que celui qui, sur ce même fond, cultive le blé ou la vigne ; la laisser perdre équivaut à laisser un champ inculte. Bien mieux, en la recueillant, il fait acte de prévoyance, nous l'avons vu, par le ralentissement apporté à la *dégradation de cette forme de l'énergie. Par toutes ces raisons, il est maître de cette puissance sur son champ, comme de son champ lui-même.*

Cela veut-il dire qu'il en peut user sans être soumis à quelque servitude vis-à-vis des autres riverains? Non. Il est une condition sans le respect de laquelle nulle appropriation de cette énergie n'est possible : c'est la restitution de l'eau à son cours ordinaire après son passage dans la chute hydraulique. Cette clause, dont l'évidence éclate, appelle cependant un commentaire.

Chaque riverain des cours d'eau non navigables ni flottables a droit à une part de leur énergie dynamique qui est proportionnelle à l'étendue du lit possédée par lui. S'il est propriétaire des deux rives, sur une longueur donnée, il a droit à toute la puissance que représente le produit du débit par la hauteur de chute réalisable entre l'amont et l'aval de cette longueur; s'il ne possède qu'une rive, il n'a droit qu'à la moitié de ce produit, et s'il n'a que la moitié de la même longueur sur une seule rive, sa part d'énergie sera représentée par le quart de la précédente quantité correspondant à la possession entière des deux rives. La logique même des choses établit que le droit à ces parts d'énergie est permutable. Quelle que soit l'importance ou la petitesse de sa part, le riverain ne saurait-en être dépossédé, sans compensation, au profit d'un autre riverain; mais, s'il ne veut, ou ne peut, l'utiliser lui-même, il est libre de la vendre, tout en gardant la propriété de la rive, comme on vend la jouissance d'un immeuble en restant son nu propriétaire. *Cette propriété de l'usage de l'eau considérée comme un revenu de la rive* s'appelle, vous le savez, Messieurs, *le droit de riveraineté.*

Supposons un riverain possesseur de tout le lit sur deux sections séparées par divers autres riverains. Dans chaque section il a le droit d'utiliser toute l'énergie y afférente. Mais, si petite que soit la bande de terrain qui les sépare, il ne peut établir une chute qui les réunisse; il est obligé de rendre l'eau à son cours ordinaire, à l'aval de la première section, et de la dériver à nouveau à l'amont de la seconde section, afin de laisser aux riverains intermédiaires la libre disposition de leurs parts d'énergie. Pratiquement, pour ne faire qu'une chute, il leur achètera *leurs droits de riveraineté*. En matière d'utilisation de la puissance dynamique des cours d'eau, la clause de restitution de l'eau à son cours ordinaire est si explicitement contenue dans le principe même du *droit de riveraineté* qu'il n'est point nécessaire de la formuler, et je n'ai mis là cette dissertation que pour faire en sorte d'éclairer ce qui va suivre touchant un point resté obscur dans l'histoire de notre vieux droit rural.

La chute n'épuisant pas l'eau, la rendant *forcément* à son cours naturel, les rédacteurs du Code civil ont, sans nul doute, pensé qu'aucun texte ne pouvait prétendre à réglementer la production de la force hydraulique par un usinier *sur son propre domaine.* Car en ce temps-là cet usinier ne se servait jamais que du courant qui passait *chez lui*, il n'avait pas besoin d'acheter le *droit de riveraineté* de la bande de terrain plus haut considérée entre deux sections à lui; tout lui appartenait. A la sortie de son usine, il aurait été fort embarrassé de rendre l'eau ailleurs qu'à son cours ordinaire. Et le Législateur de 1804 pouvait penser avec raison qu'il n'y avait pas lieu d'inscrire dans le Code cette clause *exécutée avant la lettre.*

Reportons-nous à cette époque : les seuls moteurs *mécaniques* employés dans les tissages, papeteries, moulins, filatures, ateliers, forges et manufactures étaient le moulin à vent et la roue hydraulique. La machine à vapeur à très basse pression et à simple effet venait de faire son apparition dans quelques mines et entrait seulement en expérience sur les bateaux. Rien ne pouvait faire prévoir au Législateur son introduction si rapide dans les usines quelques années plus tard. Rien non plus ne lui disait qu'entre 1824 et 1830 des Burdin, des Fourneyron et des Fontaine inventeraient et construiraient des turbines qui révolutionneraient l'art de l'hydraulicien. Ce qu'ils voyaient au début du XIXe siècle, les hommes chargés de rédiger le Code Napoléon, c'étaient les roues horizontales, en usage de temps immémorial dans le midi et l'ouest de la France, les rouets du Languedoc et les « pirouettes » de la Bretagne, et les roues des moulins du Basacle à Toulouse. Tout au plus les roues Sagebien et Poncelet commençaient-elles à paraître... Aussi, celui qui leur aurait dit qu'un jour viendrait où le filateur, le minotier, le maître de forges, allongeraient leurs canaux d'amenée au delà des domaines qu'ils possèdent sur les rivières ou en feraient d'autres à la sortie de leurs usines pour rejeter l'eau dans une autre rivière afin d'accroître la puissance de leurs chutes dans d'énormes proportions, celui-là les aurait trouvés sceptiques. Ces législateurs ne pouvaient légiférer qu'en raison de ce qu'ils voyaient. Or, c'était, en fait d'usines hydrauliques, une *béhalière*, une roue et un canal de fuite établis d'un bout à l'autre invariablement sur l'*héritage* de l'usinier et rendant l'eau à la rivière quelques centaines de mètres au plus à l'aval du point d'où elle était dérivée.

Ceux qui ont fait le Code se sont donc dit vraisemblablement :

les roues hydrauliques de toutes les usines qu'on peut échelonner les unes à la suite des autres sur une même rivière, comme les marches d'un escalier gigantesque, reçoivent la même quantité d'eau des unes aux autres, ne nous en inquiétons pas, chaque industriel use de ce qui lui appartient sans rien prendre de ce qui est au voisin ; mais en serait-il de même si l'un de ces échelons absorbait, d'une façon quelconque, une certaine quantité d'eau ? Et si l'on admet que l'un d'eux puisse faire cela, il faut admettre la même possibilité pour tous. Or, si, là, on ne *réglemente* pas la quantité d'eau que chacun a le droit d'absorber, les échelons supérieurs pourront en abuser et il ne restera rien pour les échelons inférieurs. Dans ce cas, une réglementation s'impose qui attribue à chaque riverain le volume d'eau qu'il a le droit de faire disparaître.

Messieurs, vous venez de comprendre que j'ai parlé de l'irrigation. Il fallait un article du Code exprimant ceci : pour arroser une terre il est besoin d'y verser un volume d'eau déterminé ; chaque riverain a droit, sur la totalité du débit, à une quantité proportionnelle à l'étendue de sa rive ; mais, comme la loi ne peut descendre dans le détail d'application consistant à *mesurer* ce volume pour chaque riverain, elle formule un *mode de mesurage automatique* en disant : tout riverain a le droit de prendre plus d'eau qu'il ne lui en faut *à la condition* qu'il rende à son cours naturel ce que sa terre n'absorbe pas et constitue la part proportionnelle des riverains d'aval. Tel est l'esprit et la substance de l'article 644 du Code civil.

On s'est appuyé sur cet article pour édifier la législation actuelle des chutes d'eau à l'aide de ce raisonnement : Le Code ne parle pas de l'usage de l'eau courante en tant que force motrice, mais, du moment où il permet *d'absorber* cette eau par l'irrigation dans l'intervalle d'une propriété, *a fortiori*, sous entend-il qu'on peut l'employer à mouvoir une machine ne *l'absorbant* pas, pourvu qu'après y avoir *seulement laissé sa force vive* elle soit de même rendue à son cours ordinaire ?

Ce raisonnement peut être très fondé quand il s'agit d'établir un règlement d'eau entre plusieurs riverains qui ont des parts de puissance dynamique mal définies par suite du morcellement de leurs fonds. A défaut d'autre texte qui, je viens de l'expliquer, ne pouvait figurer dans le Code civil, je comprends bien qu'on se serve, pour départager entre plusieurs riverains la puissance dynamique d'une section de cours d'eau, du *mesurage automatique*

institué pour l'irrigation; mais je n'ai jamais compris pourquoi l'on invoque le fameux article 644 sous le couvert de cette interprétation de principe : Le Code permet d'*user* l'eau par irrigation pourvu qu'on rende le *surplus* à son cours ordinaire, donc il permet de se servir de l'eau comme force motrice dans les mêmes conditions.

*Le droit d'utiliser l'énergie cinétique de l'eau qui coule sur une terre n'a point été créé par le Code, il a toujours existé*, parce que cette énergie est comme un *revenu* de la terre qu'on laisse perdre ou qu'on recueille, mais qui ne peut appartenir à d'autre qu'à l'héritier de la terre. Le Code ne pouvait à ce sujet qu'inscrire dans son texte la défense à tout usinier de gêner ses voisins. Or, cette défense y est contenue en ce qui concerne l'usage de la force motrice de l'eau du fait même qu'étant une chose susceptible de propriété le Législateur proclamait le caractère intangible de toute propriété. Et cela est si vrai que la loi de 1898, dont j'ai déjà parlé, complétant le Code, ne contient pas d'autres prescriptions que celle de l'article 10 ainsi conçu : « Le propriétaire riverain d'un cours d'eau non navigable ni flottable ne peut exécuter des travaux au-dessus de ce cours d'eau, ou le joignant, qu'à la condition de ne pas préjudicier à l'écoulement et de ne causer aucun dommage aux propriétés voisines ». Vous comprenez maintenant qu'il ne pouvait en être différemment.

Concluons donc : *La condition nécessaire et suffisante pour qu'un industriel riverain puisse capter à son usage exclusif la puissance dynamique d'une section de cours d'eau non navigable ni flottable est qu'il possède tous les droits de riveraineté des autres propriétaires touchés par la création de sa chute.*

Tel est, Messieurs, le principe fondamental de notre législation des chutes d'eau basée sur l'attribution du lit des rivières non navigables ni flottables à leurs riverains. On a contesté ce principe en disant : le lit est au riverain, soit, mais l'eau n'est à personne, elle est *res communis ;* donc l'énergie qu'elle dépense sur ce lit n'est pas aux riverains mais à la collectivité, c'est-à-dire à l'État ; nul ne peut en disposer sans la permission de la puissance publique. Vous avez déjà saisi le sophisme contenu dans cette argumentation. L'énergie solaire aussi est *res communis !* La puissance publique a-t-elle quelque chose à voir avec la manière dont le propriétaire d'une terre utilise la quantité qu'elle en reçoit ? Tout ce qui précède n'a été que la réfutation anticipée de

ce raisonnement. Je me résumerai donc en une phrase : Les phénomènes naturels qui sont pour l'homme des sources gratuites et permanentes d'énergie sont *res communis*; mais toute quantité de cette énergie que l'homme, au moyen d'une machine à lui, tire du jeu de ces phénomènes, est sa propriété indiscutable et indiscutée ; or, l'écoulement de l'eau dans une rivière est un phénomène naturel, source gratuite et permanente d'énergie pour l'homme ; la chute hydraulique, formée d'un canal et d'un récepteur de *force vive*, est la machine qui met sous forme utilisable par l'homme une quantité déterminée de cette énergie ; donc cette énergie est au propriétaire de la chute et par conséquent du lit de la rivière dans la partie qu'elle occupe.

Quelles raisons peuvent invoquer ceux qui estiment que l'énergie dynamique de *tous les cours d'eau* doit être considérée comme étant une richesse *publique*? — Je n'en vois qu'une seule: c'est de trouver dans cette considération le moyen d'obtenir, au profit de notre prospérité nationale, la meilleure utilisation possible de nos forces hydrauliques. *La meilleure utilisation* de cette richesse doit être assurément la préoccupation dominante de l'Économiste dans l'étude des problèmes soulevés par sa mise en œuvre si récente. Or, par ces temps où l'idée collectiviste envahit tant de brillants esprits, l'Économiste est forcément conduit à se demander si, en donnant à l'État la propriété de toutes nos richesses hydrauliques, il n'en résulterait pas une meilleure utilisation qu'en les laissant partager entre une catégorie de riverains et lui État autre riverain. Si cela est vrai il n'y a point d'arguties à chercher pour dire que le lit des rivières non navigables ni flottables est à leurs riverains, mais que la puissance dynamique en elles contenue est à l'État. Il n'y a qu'à déclarer purement et simplement que le lit de ces cours d'eau cesse d'appartenir à leurs riverains pour entrer dans le régime des biens domaniaux. De cette façon, et de cette seule façon, l'énergie de leurs chutes sera à leur nouveau et unique riverain, c'est-à-dire à l'État, comme celle qu'on peut tirer des cours d'eau navigables et flottables.

On peut d'ailleurs se demander maintenant pourquoi les cours d'eau de la deuxième catégorie (non navigables ni flottables) ne feraient pas, au même titre que ceux de la première catégorie, partie du domaine public. Remontons au principe sur lequel repose ce classement de nos cours d'eau. Ceux qui peuvent servir à la navigation ou simplement au *flottage* furent considérés

comme des routes nationales, remplissant un rôle d'utilité publique ; ceux, au contraire, qui *ne peuvent rendre aucun service par un mode quelconque d'utilisation collective* (on verra pourquoi je souligne) *et ne sont bons qu'à servir des intérêts privés* furent laissés à la libre disposition de leurs riverains sous la seule condition de n'en pas gêner le cours. Ce partage pouvait être logique et juste à l'époque où il se fit ; mais les temps ont changé, les lois économiques du monde nous ont amenés à un cycle de son évolution bien différent de celui où se fit le partage en question, et ce qui avait autrefois sa raison d'être a-t-il toujours lieu d'exister depuis l'ère de la Vapeur et le règne de l'Électricité ? Nos fleuves sont sans doute toujours « des chemins qui marchent » mais combien effacés depuis que, bien à tort, on les abandonne trop complètement pour les chemins de fer. Voilà donc la part de nos richesses hydrauliques que l'État s'était faite, ayant perdu la valeur pour laquelle il se l'était attribuée ! Par contre, des hommes sont venus depuis nous donner les moyens d'exploiter la valeur jusqu'alors stérile des rivières, torrents et gaves dédaignés — et pour cause ! — par cet État qui avait cru se faire la part du lion. La dynamo de Gramme, la turbine sous haute chute de Bergès et le transport électrique à Grenoble de la force produite par la turbine de Vizille, nous ont livré les quatre ou cinq millions de chevaux, que recèlent nos cours d'eau non navigables ni flottables. Les rôles aujourd'hui ne sont-ils pas renversés et celui qui se croyait le plus riche n'est-il pas le plus pauvre ? Invoquant la raison d'État, n'a-t-il point le droit de revenir sur sa détermination ?...

Il peut dire : Pour aménager le plus utilement possible la puissance de ces rivières il faut dériver leur eau sur la plus grande partie de leur cours par des travaux d'art réunissant en une seule chute toutes les chutes partielles à faible rendement que les riverains, en l'état actuel, auraient la liberté d'établir les unes à la suite des autres au droit de chacun de leurs fonds ; or, cela c'est *l'utilisation collective*, imprévue à l'époque du classement des cours d'eau, mais qui est maintenant une raison de faire rentrer dans le domaine public ceux de la deuxième catégorie. Il peut ajouter : J'ai des services publics à alimenter d'énergie électrique ; la batellerie à faire revivre sur les fleuves et les canaux, grâce au halage électrique ; la traction à vapeur à remplacer par la traction électrique plus avantageuse au double point de vue économique et technique sur les chemins de

fer quand les grandes Compagnies me feront retour en fin de concession. Pour réaliser ce progrès, dans l'intérêt même et pour le bien-être de la communauté des citoyens, j'ai besoin d'énergie à bon marché; or, la puissance dynamique des cours d'eau non navigables ni flottables constitue cette énergie; n'ai-je pas le droit de m'attribuer cette part de richesse hydraulique? Ce n'est point là une richesse récemment créée, seuls les moyens de la mettre en exploitation sont nouveaux, donc elle me *revient de droit.*

Ne vous semble-t-il pas, Messieurs, que ces raisons soient justes? Et si elles le sont, l'État n'a qu'à signifier aux riverains: Vos droits valent tant; vous les avez acquis aux dépens de mon imprévoyance, mais je ne veux point vous faire tort de ce que par ma faute vous avez pu de longue date considérer comme votre bien, et ces droits je vais vous les payer au fur et à mesure que j'en *reprendrai* possession. Vous reconnaissez là, Messieurs, le principe de la *concession des chutes par l'État* sur les cours d'eau non navigables ni flottables et de l'expropriation avec indemnité, du droit des riverains pour l'aménagement des forces hydrauliques.

Est-ce par l'application de ce principe que nous arriverons à *la meilleure utilisation* des chutes d'eau? Si oui, il faut adopter le système de la concession, si non il faut chercher mieux. C'est maintenant la question que je me propose d'aborder. Je puis le faire avec toute l'indépendance d'esprit voulu, car je ne dois rien à l'État et ne suis non plus riverain du moindre cours d'eau; mon rôle de publiciste me défend de toute attache aussi bien avec l'Administration qu'avec les groupes industriels; il me commande l'impartialité. Nul de ceux qui ne seront point de mon avis ne pourra donc dire que je suis orfèvre! Cette déclaration était nécessaire, car nous sommes sur un sujet où l'influence du milieu souvent s'est fait sentir dans l'argumentation.

### § 3. — De la meilleure utilisation des forces hydrauliques.

Devant être l'objectif unique de l'Économiste, le problème de la *meilleure utilisation* de l'énergie cinétique de nos rivières doit être cherché uniquement avec les données d'expérience que nous fournit la technique de l'industrie nouvelle; c'est-à-dire que toute conception abstraite sur l'économie de cette richesse doit

céder la place aux déductions rigoureuses qu'un esprit réfléchi peut tirer des faits en observation.

Examinons donc ces faits. A ceux qui ne sont point ingénieurs, ils paraissent quelque peu tenir du prodige : en moins de vingt ans une centaine d'usines, représentant un total de 200 000 ch hydrauliques, ont surgi qui ont employé un capital de 175 millions à peu près, et rarement on vit pareil essor ; aux hommes de métier, hydrauliciens et électriciens, ils donnent la mesure de ce qu'ils peuvent espérer de leur science dont le progrès vainc toutes les difficultés : que la chute à utiliser se présente sous une grande hauteur avec un faible débit, ou inversement qu'il s'agisse de dériver un gros débit sous une faible hauteur, que le lit du torrent soit encaissé entre des murs de rochers abruptes ou s'élargisse en plaine, les méthodes d'aménagement sont trouvées, infiniment variées dans leurs formules d'exécution, mais dont les principes paraissent définitivement fixés et vérifiés par une pratique déjà probante ; qu'on veuille ensuite transporter l'énergie de ces chutes à 200 km dans la plaine pour la ramifier entre les usines aux lieu et place de la houille noire, ou lui faire mouvoir un chemin de fer dans la montagne ; ou encore qu'on la fasse servir à l'élaboration des produits du four électrique ou de l'électrolyseur, les solutions des difficultés inhérentes à ces problèmes nouveaux sont connues et pour la plupart déjà démontrées par de beaux exemples. A l'économiste qui n'est point doublé d'un technicien et n'a pas mûri les enseignements qu'ils comportent, ces faits peuvent paraître le résultat d'un incomparable effort industriel, mais dont le bénéfice est insuffisant par rapport à la dépense parce qu'ayant été trop prompt pour avoir pu être calculé sûrement. Il apparaît, en effet, que les chutes se sont organisées comme par enchantement sous l'empire des prodiges de l'électricité ; qu'on est allé au plus vite pour faire ici du transport de force et là de l'électrochimie ; qu'avant tout on s'est préoccupé d'approprier les chutes les mieux situées et de résoudre les difficultés techniques les plus pressantes ; que chacun, enfin, dans la lutte pour la meilleure place, a considéré seulement son intérêt personnel et immédiat. Nulle méthode, même hâtivement ébauchée, ne semble avoir été suivie dans cet essor gigantesque de la plus moderne des industries. Il en est résulté de grands progrès sans doute, mais avec pas mal de déboires, et de la vue d'ensemble de toutes ces installations hydro-électriques se dégage l'impres-

sion très nette que, si nous sommes désormais en possession des méthodes définitives de captage des forces naturelles, les moyens par lesquels doit se faire leur utilisation sont à perfectionner et pour la plupart encore à trouver. Comme on l'a dit, certains ont à ce sujet trop tôt converti des espérances en actions.

Pourtant, des faits acquis, résultats heureux et déboires en apparence pêle-mêle, on peut dégager des leçons dont l'ensemble constitue, à proprement parler, ce que j'ai appelé, au début de ce mémoire, « l'Économie des chutes d'eau ». Plaçons-nous donc exclusivement sur ce terrain de l'économie politique et voyons quel objectif doit viser l'homme d'industrie dans la mise en œuvre des forces hydrauliques pour en obtenir *la meilleure utilisation dans l'intérêt de notre prospérité nationale.*

Si notre *appareil hydraulique* fonctionne d'une manière incessante, son fonctionnement est loin malheureusement de la régularité. Le réapprovisionnement des bassins d'alimentation de nos cours d'eau par le jeu des précipitations atmosphériques a lieu suivant des intermittences variables avec les conditions climatériques des zones orographiques. Dans chaque bassin, on voit à peu près aux mêmes périodes de l'année des condensations abondantes amplifier le débit des émissaires qui, dans les autres périodes, en l'absence de toutes précipitations, sont alimentés uniquement par la réserve que crée le bassin; d'où cet aspect d'une sinusoïde déformée par les pointes des crues que présente la courbe des débits d'un cours d'eau quand on la considère dans un intervalle de plusieurs années consécutives. Plus est grand le *pouvoir régularisateur* d'un bassin, c'est-à-dire plus il restitue lentement l'eau reçue, et plus la courbe des débits de l'émissaire se rapproche d'une sinusoïde régulière et allongée. Dans les bassins qui ont des glaciers comme les Alpes centrales, ceux-ci jouent le rôle d'accumulateurs hydrauliques se chargeant l'hiver et se déchargeant l'été avec une régularité que traduisent les graphiques de débits des cours d'eau formés sur leurs pentes. Les forêts, par un mécanisme bien connu, constituent, après les glaciers, le meilleur régularisateur de débit, comme en témoignent par exemple les affluents du Haut-Rhin qu'alimente le bassin très boisé des montagnes de la Forêt-Noire. Au contraire, les massifs montagneux dépourvus de glaciers et de forêts sont, ainsi que nous le montrent les Pyrénées, sujets à des alternatives de crues dévastatrices et de disettes d'eau. (La nature

avait pourvu notre *appareil hydraulique* de cet organe indispensable de régularisation et l'homme en déboisant l'a supprimé; il faut qu'il le reconstitue bien vite, s'il ne veut pas voir le jeu de cet appareil aller en se *déréglant* avec une inquiétante rapidité.) Même sur les cours d'eau issus des bassins à fort *pouvoir régularisateur*, nous avons, néanmoins, affaire à des débits qui oscillent assez périodiquement dans de très grandes limites de part et d'autre du *débit moyen* qu'ils auraient si toute l'eau reçue par leur bassin s'écoulait en un débit uniforme toute l'année. Or, c'est là ce qui rend particulièrement difficile la recherche du problème de la *meilleure utilisation.*

Si, dans l'aménagement industriel de la puissance dynamique d'un cours d'eau, l'on se borne à n'utiliser de la courbe des débits que ce qui est au-dessous du débit moyen, on laisse perdre toute l'énergie dépensée par les hautes eaux. Et encore, cela faisant, il arrivera que, dans les intervalles de temps compris entre les minima de la courbe des débits et la valeur du débit employé, la puissance de la chute pourra être réduite des deux tiers ou des trois quarts, circonstance bien défavorable à un emploi industriel de l'énergie exigeant en général une puissance plus régulière. Pour l'obtenir, il faudrait n'aménager que le débit minimum. Mais alors on n'utiliserait plus guère en chaque chute que la trente ou quarantième partie de l'énergie des eaux versées dans le bassin. *Le problème de la meilleure utilisation consiste à chercher pour chaque cours d'eau le débit donnant la plus grande puissance variable qui puisse être utilisée par l'industrie.* Nous allons voir que parfois ce sera le débit minimum, très rarement le débit moyen et le plus souvent un débit intermédiaire.

Sur tout cours d'eau, quel que soit son régime, on peut considérer la *puissance d'une chute* comme étant la *somme de deux quantités*. La première a une valeur invariable, étant le produit de la hauteur de chute par le débit le plus bas qu'on puisse constater pendant dix années consécutives par exemple et que j'ai appelé simplement : le *débit minimum*. La deuxième partie est *variable* à chaque instant. A un instant donné, elle a pour valeur le produit de la hauteur de chute par le débit dérivé *en surplus* du *débit minimum*. Cette partie de la puissance passe donc de zéro à une certaine valeur qui doit se maintenir constante au moins six mois par an, afin de pouvoir être utilisée par l'industrie. J'ai désigné sous le nom de *débit industriel* celui qui, *pendant les six*

*mois* de la plus sèche de dix années consécutives, donne avec le débit minimum, la plus grande somme de puissance dans la chute. Afin de simplifier le langage, tout en employant des mots qui expriment sans ambiguïté possible la fonction caractéristique de chacune de ces quantités, j'ai dénommé : *chevaux permanents* ceux dont se compose la partie *invariable* de la puissance, et *chevaux périodiques* ceux revenant à *période* à peu près fixe dans l'année, dont se compose la partie *variable*. Et j'ai écrit que la puissance totale, ou *puissance industrielle* d'une chute, est égale à la somme des chevaux permanents et des chevaux périodiques.

Dans quelles circonstances faut-il aménager la puissance formée des premiers seuls, et quand doit-on installer celle comprenant une plus ou moins grande partie des seconds? Tout le problème de la *meilleure utilisation* est là, comme on va le voir par ce qui suit.

On créera des chevaux périodiques quand on en pourra trouver l'emploi et on le trouvera quand ceux-ci seront à *très bon marché*. Ils sont, de par leur variabilité même, d'une affectation peu commode; ils ne peuvent pas être employés dans un transport électrique d'énergie, car leur périodicité ne concorde que par extraordinaire avec les variations de puissance consommée par un service public. Seule, une industrie privée, dont les opérations peuvent être en synchronisme avec la périodicité de ces chevaux, est susceptible de les absorber. Mais, dans les vallées des pays de houille blanche, les industries mécaniques susceptibles d'absorber beaucoup de force à dates fixes sont rares et l'on ne peut pas escompter leur développement pour l'utilisation de l'innombrable quantité de chevaux périodiques en puissance dans nos cours d'eau propres à l'usage industriel. Il faut donc se tourner du côté des industries chimiques. Grâce au four électrique, à l'électrolyseur et aux appareils d'utilisation électrochimique de l'énergie qui sont déjà en marche ou vont franchir la porte des stations d'essai, ces industries sont à même d'employer les chevaux périodiques; bien mieux, il est à prévoir que, sous peu, nombre d'entre elles seront rénovées par cet emploi. Ce sont elles qui d'abord absorbent le plus d'énergie et ensuite et surtout se prêtent le plus commodément à l'utilisation d'une puissance variable ; ici l'usine génératrice d'énergie n'est pas commandée par les besoins d'un service public, c'est au contraire l'industrie privée qui règle sa marche sur

l'allure du débit d'énergie. Mais on ne doit pas perdre de vue que pour appliquer avec bénéfice le courant électrique aux opérations de la métallurgie et de la grande industrie chimique, il faut que son prix de revient soit très bas. Les chevaux périodiques n'auront donc des raisons d'exister que dans les installations où ils reviendront très bon marché.

Quelles sont ces installations? Considérons deux chutes de même puissance : l'une à gros débit (50 m³ par exemple) et à faible hauteur (soit 15 m); l'autre à petit débit (3 m³ par exemple) et à grande hauteur (soit 250 m). La première se trouve dans les vallées basses à thalweg peu incliné et comporte pour son organisation des ouvrages très importants : prises d'eau au moyen de barrages volumineux, vastes chambres de décantation, canaux à grande section et longs pour réaliser une différence de niveau sur un lit à faible pente, turbines à grand diamètre et bâtiments spacieux. Tout cela coûte cher d'établissement et d'entretien. La seconde chute est dans les vallées hautes à thalweg rapide et comporte des ouvrages d'installation beaucoup moins coûteuse : prises d'eau avec barrages peu importants, chambres de décantation de dimensions réduites, canaux à faible section et de peu de longueur pour racheter une grande différence de niveau sur un lit à très grande pente, enfin turbines à grande vitesse très peu volumineuses et bâtiments d'usine à dimensions restreintes. En même temps qu'ils coûtent relativement peu d'installation, ces ouvrages exigent beaucoup moins de frais d'entretien. Or, ce qu'il importe surtout de considérer, c'est le prix du cheval-an sur l'arbre des turbines. Ce prix est composé principalement : 1° de l'annuité d'amortissement du capital d'installation; 2° de l'intérêt annuel de ce capital; 3° des frais d'entretien de l'installation. On comprend donc que d'une manière générale le prix de revient du cheval-an soit beaucoup plus élevé dans les basses chutes que dans les hautes chutes.

On peut dès lors formuler cette règle générale, confirmée du reste par l'exemple des usines existantes et ne comportant que de très rares exceptions dues à des circonstances topographiques tout à fait exceptionnelles : *dans deux chutes de même puissance le prix de revient du cheval-an sur l'arbre des turbines est en raison directe du débit et par conséquent en raison inverse de la hauteur.* Ainsi, il est certain qu'à l'usine de Jonage (Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône) où pour un débit minimum de 100 m³ et une

chute de 12 m, le cheval a coûté plus de 2 000 f d'installation, son prix de revient annuel est de beaucoup plus élevé qu'à l'usine de Vouvry utilisant le lac Tanay (Suisse) sous une chute de 950 m avec un débit de 1 200 à 1 300 l et dans laquelle la même puissance qu'à Jonage ne dépassera pas, une fois toute aménagée, 200 f d'installation par cheval.

Ceci étant établi, nous pouvons, pour rendre plus claire la comptabilité des prix de revient, considérer dans chaque chute séparément celui du *cheval permanent* et celui du *cheval périodique*. En vertu de la règle précédente, on voit d'abord que le cheval permanent revient cher dans la basse chute à gros débit et ensuite que le cheval périodique y coûte aussi cher que le premier, puisque son prix de revient est en raison directe du débit à dériver en surplus du *débit minimum*, débit qui, par le fait du peu de hauteur de chute, doit être important si l'on veut un appréciable accroissement de puissance. Au contraire, dans la haute chute, à petit débit, le coût du cheval permanent est bas et celui du cheval périodique encore plus bas, parce qu'il est proportionnel au faible débit qu'il suffit d'aménager en surplus du *débit minimum* pour obtenir, sous la grande hauteur de chute, une forte augmentation de puissance.

Nous sommes ainsi amenés à voir que seul le cheval périodique des hautes chutes étant bon marché pourra être employé par l'électrochimie et l'électrométallurgie. Comme ce n'est que dans de très rares exceptions qu'il pourra être affecté à d'autres usages industriels, il faut en conclure *qu'en règle générale on se bornera à créer des chevaux permanents dans les basses chutes et à installer des chevaux périodiques dans les hautes chutes.*

Mais entre la *haute* et la *basse* chute, malheureusement non encore définies par des chiffres dans notre technologie nouvelle — et cela est pourtant nécessaire afin de s'entendre — il existe toute une échelle de hauteurs. Pour chacune d'elles il y a un *débit industriel* correspondant à la *puissance industrielle* qui donne le meilleur prix de revient du cheval périodique. Tous les calculs de l'installateur doivent tendre à le dégager des données du problème de la *meilleure utilisation*. Dans les basses chutes, le débit industriel se confondra avec le débit minimum, et au fur et à mesure qu'on s'élèvera dans l'échelle des hauteurs, il se rapprochera du débit moyen qu'il atteindra ou peut-être même dépassera dans les plus hautes chutes. Cette conclusion est d'ailleurs conforme à ce qu'on peut observer dans la généralité des instal-

lations existantes et je n'ai fait qu'exprimer analytiquement des faits connus de tous les organisateurs de forces hydrauliques.

Cela vous explique pourquoi les installations utilisant les basses chutes ne font en général que du transport et de la distribution d'énergie hydro-électrique, tandis que celles utilisant les hautes chutes peuvent faire à la fois du transport d'énergie pour l'alimentation des services publics d'éclairage, force ou traction avec leurs chevaux permanents, et de l'électrochimie ou de l'électrométallurgie avec leurs chevaux périodiques. *Pour ces dernières*, les plus nombreuses à ce qu'il paraît, *ce double emploi simultané de leur puissance est la solution de l'avenir.* On pourra le contester en citant comme exceptions bien connues dans la région dauphino-savoisienne, certaines usines où des chutes de hauteur *moyenne* (30 à 40 m) et dont la puissance comprend 2 à 3000 ch périodiques font uniquement du transport et de la distribution d'énergie. tandis que d'autres usines avec des chutes plus hautes (80 à 120 m) et ayant un très grand nombre de chevaux permanents emploient la totalité de leur puissance à des opérations électrochimiques ou électrométallurgiques.

Sans doute, il y aura toujours des exceptions dues à des circonstances locales justifiant une autre solution que celle précédemment indiquée : ou bien avec des lacs et des bassins compensateurs de débits, des combinaisons d'usines hydro-électriques groupées sur un même réseau, des arrangements de tarifs et de service entre des clients de force et de lumière, on pourra encore. comme on a pu, utiliser un certain nombre de chevaux périodiques dans des entreprises de distribution d'énergie ; ou bien, grâce aux conditions exceptionnellement avantageuses dans lesquelles se présentera encore la captation de certaines sections de cours d'eau, le prix de revient des chevaux périodiques et permanents sera d'autre part assez bas pour qu'on puisse les consacrer tous à l'électrochimie. Mais j'insiste sur ce fait que ce sont là des circonstances exceptionnelles.

Songez que nous avons seulement 200000 ch d'installés sur les 4 ou 5 millions qui, d'après les estimations les plus pessimistes, sont disponibles et aménageables, tant dans les Alpes et les Pyrénées françaises que dans le Massif Central, les Vosges et le Jura. Et encore, dans ces 200 000 ch, faut-il remarquer que bon nombre n'ont pas conservé leur destination primitive ; 81 000 répartis en 37 usines devaient faire du transport d'énergie ; 89 000 devaient être absorbés par 23 usines électrochimiques : mais les

applications de la forme électrique de l'énergie à la grande industrie chimique n'ayant pas encore partout réalisé les espérances qu'on avait fondées sur elles et par contre le transport électrique de la force s'étant créé des débouchés nouveaux grâce à son rayon d'action tous les jours accru, il est arrivé qu'un tiers environ des chevaux d'électrochimie sans emploi sont allés au transport de force ; en sorte qu'aujourd'hui 100 à 110 000 ch font du transport d'énergie et 50 à 60 000 de l'électrochimie ou de l'électrométallurgie. Parmi les usines qui ont dû changer leur destination primitive, plusieurs déjà que je pourrais citer livrent, ou vont livrer, la plus grande partie leurs chevaux permanents à des services publics d'éclairage, de distribution de force motrice ou de traction et gardent les chevaux périodiques pour leurs fours ou leurs électrolyseurs.

Ainsi, par la force même de l'évolution économique de l'industrie hydro-électrique, les usines utilisant des hautes chutes sont amenées à cette double destination. Ce qui va suivre montrera d'ailleurs qu'il n'en peut être autrement. Ne nous basons pas sur ce qui existe aujourd'hui et sera une exception quand les circonstances économiques devant développer cette solution d'avenir seront nées et feront sentir leur effet. Il faut pour cela que les branches de l'électrochimie aient poussé sous l'action fécondante des découvertes en élaboration. A ce moment, il apparaîtra nettement que les chevaux permanents vendus à un transport d'énergie bien plus cher que l'usine électrochimique ne peut se les payer à elle-même couvriront tous les frais de l'installation hydro-électrique et qu'alors celle-ci disposera de chevaux périodiques revenant à l'extrême bon marché nécessaire pour la fabrication de ses produits chimiques ou métallurgiques. Il lui suffira de garder avec les chevaux périodiques une fraction des chevaux permanents pour ne point mettre en chômage complet l'usine chimique en périodes de basses eaux, cela va de soi.

Nous pouvons alors formuler la proposition d'économie industrielle suivante : *Le problème de la meilleure utilisation des forces hydrauliques consiste à faire du transport d'énergie avec les basses chutes et du transport de force et de l'électrochimie avec les moyennes et hautes chutes.* Essayons de démontrer cette proposition à laquelle nous ont déjà préparés les considérations précédentes.

En un point quelconque d'un réseau de distribution d'énergie

hydro-électrique le prix de revient de l'unité de puissance est formé : 1° du coût du cheval aux bornes des tableaux de distribution à l'usine génératrice, coût en rapport très simple avec le prix de revient sur l'arbre des turbines; 2° des frais de transport par le réseau, de cette usine au point considéré. Ces frais comprennent l'amortissement du capital affecté à la création du réseau, son intérêt annuel, la perte d'énergie dans les canalisations et les dépenses afférentes à leur entretien et à leur surveillance. Les conditions techniques dans lesquelles s'établissent ces réseaux font qu'on peut, du point de vue économique et général où nous nous plaçons, *considérer le coût du transport électrique du cheval comme étant sensiblement proportionnel à la longueur du transport.* Les progrès étonnamment rapides de cette merveilleuse industrie nous autorisent à poser en principe que la longueur des transports électriques de l'énergie n'est pas limitée par les difficultés techniques inhérentes à l'établissement des canalisations. Aujourd'hui elles peuvent rayonner à 200 km. des usines génératrices; dans vingt ans, ce rayon sera peut-être de 500 km. Mais, quelque perfection qu'on atteigne, les réseaux hydro-électriques se termineront aux points où le prix de l'énergie qu'ils distribueront sera égal au prix de revient du cheval produit par la houille noire. C'est là une loi économique bien certaine et qu'on ne peut transgresser.

Entre une usine hydro-électrique transportant son énergie dans une direction déterminée et des mines de houille ou des points de ravitaillement en charbon, voisins de cette direction, il existe une ligne de démarcation qui est le *lieu économique* des points tels que le prix de l'énergie transportée y est le même pour la chute d'eau que pour l'usine à vapeur. Ainsi entre Grenoble et Saint-Etienne par exemple, il y a une ligne sur laquelle, toutes choses restant égales d'ailleurs, l'énergie de la houille blanche revient au même prix que celle de la houille noire. Au fur et à mesure que se perfectionnera le transport de force, cette ligne se rapprochera de Saint-Etienne, *mais elle existera toujours*, et les prix de revient du cheval sur les turbines des Alpes et sur les volants des machines à vapeur de la Loire sont tels qu'il est impossible économiquement de faire franchir cette ligne à l'énergie des torrents dauphinois ou savoisiens. Seules les quelques chutes d'eau importantes qui se trouvent *au voisinage* du bassin houiller peuvent y faire pénétrer des réseaux de transport d'énergie hydro-électrique.

Que résulte-t-il de cette loi de répartition de l'énergie entre

ces deux sortes de zones : *blanches* et *noires*, qui se délimitent réciproquement par le prix de revient sur l'arbre des moteurs? C'est que si les basses chutes produisent sur les turbines une énergie plus coûteuse que les hautes chutes, elles sont, par le fait de leur situation topographique, plus rapprochées que ces dernières des limites des *zones noires*. Elles sont, en effet, dans les parties basses des vallées, plus près des bassins houillers ou des points de ravitaillement en charbon. Au voisinage de ces limites, le prix du cheval qu'elles y transportent est inappréciablement accru par les frais de ce transport, tandis que le prix de celui qui y est envoyé par les hautes chutes est grevé proportionnellement à la longueur de la ligne de transmission électrique; il peut même en être doublé. Par conséquent, si nous considérons l'avenir, on peut dire que, d'une manière générale, l'entreprise se livrant à la distribution d'énergie avec des hautes chutes ne fera pas, malgré le bas prix de revient de cette énergie aux usines génératrices, un plus grand bénéfice à puissance égale, que l'entreprise employant des basses chutes dont l'énergie est plus coûteuse. Et de cette conséquence découle cette autre à laquelle on doit tout ramener quand on se place au point de vue social : *les services publics d'éclairage, de force motrice et traction seront, dans l'avenir, alimentés par les basses comme par les hautes chutes avec une égale économie.*

Considérons maintenant l'usine hydraulique qui alimente un service public et supposons le cas le plus favorable à l'emploi d'un débit régulier d'énergie, savoir : la fourniture de l'éclairage la nuit et de la force motrice le jour. Malgré cette circonstance favorable, le diagramme des consommations journalières du réseau accusera, surtout en hiver, ce qu'on appelle des *pointes*, correspondant à un débit d'énergie bien supérieur pendant quelques heures à la moyenne journalière. Il faut de toute nécessité que les génératrices reçoivent des turbines la puissance voulue pour *passer* ces *pointes*, ce qui oblige en principe à calculer le débit de la chute, de manière que le chiffre de sa puissance *minimum* (chevaux permanents), soit au moins égal au *maximum* des *pointes*. Si les variations du débit des cours d'eau avaient lieu dans le même sens que celles de la consommation d'énergie des installations hydro-électriques, ces *pointes* pourraient être, on le conçoit, facilement *passées* sans cette précaution. *Mais cela n'a et n'aura jamais lieu dans un service public* alimenté par une distribu-

tion d'énergie hydro-électrique. Toutefois, comme on laisserait le débit de la chute sans utilisation pendant l'intervalle des *pointes* si l'on faisait le chiffre de la puissance minimum égal au maximum de ces dernières, on a jusqu'ici préféré prendre le chiffre des chevaux permanents égal à celui de la consommation moyenne d'énergie et alors *passer les pointes* au moyen de réservoirs compensateurs de débit, de petites chutes auxiliaires, d'accumulateurs électriques, *ou de machines à vapeur*. De plus en plus nombreuses sont en effet les installations, surtout celles utilisant des basses chutes, où la houille noire vient en aide à la houille blanche non seulement pour *passer les pointes*, mais encore pour parer aux déficits de puissance pendant les époques d'extrême sécheresse.

La « Compagnie Électrique de la Loire » vient de réaliser l'un des plus remarquables exemples de cette solution. Son réseau de distribution d'énergie qui alimente les petits moteurs électriques des rubaniers stéphanois (ranimant l'atelier familial) s'agrandit sans cesse. Bientôt une usine hydraulique en achèvement joindra, dans ce réseau, sa puissance aux deux stations qui le fournissent. Ses conducteurs recevront alors 6 500 ch des usines hydro-électriques de Saint-Victor sur la Loire et du Pont-de-Lignon, situées respectivement à 14 et 30 km de l'ancienne usine à vapeur de Montaud à Saint-Étienne, laquelle pourra leur fournir le renfort de ses 2 000 ch.

Cette collaboration de la chute et de la mine qui opèrent chacune dans les limites économiques de sa zone nous fait aborder une question du plus haut intérêt. Les exemples de substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur les chemins de fer sont trop encourageants pour ne pas formuler l'espoir qu'à une certaine date, dont on ne peut encore fixer l'échéance, la locomotive à panache de fumée blanc aura partout cédé la place à l'automotrice électrique. Or, Messieurs, ce grand progrès que notre siècle verra s'accomplir au moins partiellement ne peut point avoir lieu sans que l'industrie hydro-électrique n'y participe dans une large mesure. Vous comprenez bien que les feeders d'alimentation des lignes de chemins de fer électriques devront aller puiser de l'énergie abondamment dans nos *mines* de houille blanche pour économiser le charbon dont notre pays est si pauvre qu'il nous en faut demander tous les ans pour 350 à 400 millions à l'Étranger. Voilà certes le plus important des services publics que nos forces hydrauliques soient appelées à

pourvoir d'énergie. Doivent-elles y suffire *seules*, comme certains l'ont pensé ?

Sans compter qu'on ne voit pas bien, malgré tous les progrès possibles du transport de force, comment les chemins de fer du nord de la France, de la Normandie, de la Bretagne et des Charentes pourraient recevoir les kilowatts produits par les usines génératrices des Alpes et des Pyrénées, il est de sérieuses raisons nous montrant l'impossibilité économique de mouvoir tous les trains sur les autres voies françaises par le seul appoint des chutes d'eau. D'abord, nous pouvons nous rendre compte qu'en chaque réseau des grandes Compagnies, les principales lignes passeront successivement de l'une à une autre de ces zones de distribution d'énergie plus haut désignées sous les appellations de *blanches* et *noires* suivant qu'elles sont pourvues par des chutes hydrauliques ou des centres d'approvisionnement en charbons. Le prix de revient de l'énergie le long de leurs rayons vecteurs allant en croissant du foyer, où il est minimum, à la ligne de séparation, où il est maximum, on ne doit pas, sous peine de commettre une erreur économique, transporter l'énergie de l'une dans une autre. Par conséquent, pour que les grandes voies ferrées soient, sur toute leur longueur, alimentées d'énergie au prix de revient minimum, il faudra les desservir par des usines hydrauliques et par des stations génératrices à vapeur en des points convenablement choisis de part et d'autre des limites séparatives des zones. Cette conclusion n'est point absolument nouvelle.

Il importe ensuite d'observer ce que sont les variations de puissance consommée par la traction sur nos voies ferrées. Nos locomotives brûlent tous les ans bien près de 5 500 000 t de charbon. A raison de 1 kg de charbon brûlé par cheval et par heure, cette consommation représente 628 000 ch en marche régulière d'un bout de l'année à l'autre. C'est la puissance qu'il suffirait de faire développer à nos locomotives si l'intensité du trafic était en tout temps parfaitement régulière et constante. Or, le total des chevaux en puissance dans nos locomotives se monte à 5 750 000. Comptons qu'il y en a 20 0/0 de toujours immobilisés par l'entretien et la réparation. Il en résulte qu'*à certains moments* 4 600 000 ch au moins doivent circuler en même temps sur nos voies ferrées. Cela indique que les variations de puissance y sont *au moins* dans la proportion de 1 à 7, occasionnées par les à-coups du service. On peut bien admettre maintenant que les mêmes variations se produisent sur tous les réseaux et notamment sur

ceux qui pénètrent dans les pays de montagne; puis, que les chemins de fer des Compagnies de l'Est, P.-L.-M., Orléans, État et Midi ne possèdent pas plus des deux tiers de la puissance en locomotives précédemment indiquée. Sur l'ensemble de ce vaste réseau les à-coups du service feraient donc varier de 400 000 à 3 millions de chevaux la puissance consommée par la traction des trains. Voilà des *pointes* formidables à passer pour les stations génératrices d'énergie devant alimenter électriquement ce service public. Elles n'étonnent point du reste ceux qui ont relevé des diagrammes de charge aux tableaux de distribution dans les usines de tramways électriques.

Si l'on voulait demander cette fourniture d'énergie exclusivement à nos forces hydrauliques, il faudrait pour passer *sûrement* les pointes, développer *à toute réquisition* 3 millions de chevaux aux jantes des roues des tracteurs électriques. Cela représenterait, vu les très nombreuses sous-stations transformatrices à prévoir, bien près de 5 millions de chevaux *sur l'arbre des turbines.* Nos chutes d'eau peuvent y suffire. Mais est-ce une bonne opération que d'immobiliser une telle puissance dont *les trois quarts* du temps on n'utilisera que la *septième partie* ? Ces 5 millions de chevaux hydrauliques représentent une consommation annuelle de 43 millions de tonnes de charbons. En admettant même que ce soit du charbon plus de *deux fois meilleur marché* que notre houille noire, il n'en équivaudra pas moins à la valeur de 21 millions de tonnes de cette dernière. Or, pour alimenter ce réseau des cinq grandes Compagnies plus haut désignées il suffirait des deux tiers de 5 500 000 t, soit *au plus* 3 700 000 t de houille ! Vous voyez, Messieurs, quel gaspillage on commettrait inconsidérément. Cela ne peut avoir lieu. Ces millions de tonnes de charbon à quoi équivalent nos forces hydrauliques ne doivent pas être gaspillées *parce qu'elles tiennent lieu de combustible bon marché*, mais bien au contraire cette puissance doit être *employée de telle façon qu'elle économise en s'y substituant dans certaines applications mieux choisies et qui ne manquent pas, l'énergie dont il faudrait demander la production à cette énorme quantité de houille noire.*

Pour nos chemins de fer, la solution la plus économique que l'on puisse dès maintenant apercevoir consistera à faire fournir aux réseaux situés dans les zones d'action de la houille blanche la *puissance moyenne* par des chutes d'eau; à *passer les pointes* à l'aide d'usines génératrices à vapeur placées au voisinage des

limites de ces zones et enfin à munir les autres parties des réseaux de stations génératrices à vapeur. C'est par l'accouplement de toutes ces usines qu'on obtiendra le meilleur prix de revient dans la traction sur nos chemins de fer. De cette manière il pourra se faire qu'ils utilisent 2 à 300 000 ch hydrauliques, ce qui représentera déjà une économie d'au moins 2 millions de tonnes de houille sur les 5 500 000 aujourd'hui consommées par l'ensemble de nos locomotives.

L'avenir ainsi verra se souder par leurs réseaux de distribution d'énergie toutes les usines hydrauliques, et, dans le réseau très vaste qui en résultera, dont les mailles couvriront surtout l'Est, le Centre et le Sud de la France, on verra de plus entrer un très grand nombre de stations centrales à vapeur. Car ce qui est vrai pour cet immense service public des chemins de fer l'est aussi pour tous les autres : traction électrique de la batellerie réorganisée sur nos fleuves et nos canaux, éclairage public et distribution de la force motrice dans les ateliers et les manufactures. Messieurs, je ne rêve point; je parle d'une réalité en marche; ceux d'entre vous qui observent ce qui se passe dans nos Alpes ne sont point surpris de mon langage.

C'est donc à ce réseau de canalisations électriques que les services publics viendront puiser l'énergie sous les diverses formes dont ils ont besoin. Dans ces canalisations on répartira à l'aide de dispositifs et de combinaisons qui s'inventent tous les jours, les tensions et les intensités de courants au mieux de tous les services à desservir. Il s'y établira des compensations de débit des unes aux autres des usines génératrices et bien des *à-coups* qui existent dans les installations isolées et comparativement restreintes de cette époque-ci disparaîtront. Mais, il n'en reste pas moins certain que, lorsqu'on totalisera les diagrammes de débit de toutes les usines alimentant un même réseau, on trouvera, si vaste soit-il, des *pointes* encore très accusées qui se reproduiront périodiquement tous les jours et plus particulièrement en certains jours et en certaines saisons. Ces variations de puissance consommée ne peuvent pas plus être en synchronisme avec les variations de puissance des chutes d'eau dans le réseau général d'accouplement de toutes les usines qu'elles ne le sont dans un seul. Par conséquent, là encore il faudra que ce soient les machines à vapeur, sur la limite des zones *blanches* et *noires*, qui *passent les pointes* du diagramme de débit du réseau général. *Les usines hydrauliques n'auront à lui fournir que des chevaux permanents,*

*puisque leurs chevaux périodiques ne se présentent pas, ou très exceptionnellement, au moment de ces pointes.*

On voit maintenant que tout s'enchaine : les basses chutes qui n'ont point d'intérêt à créer des chevaux périodiques inutilisables dans le réseau, ni dans les usines électrochimiques à cause de leur prix de revient trop élevé, ne feront donc que du transport d'énergie. C'est ce que nous voulions prouver. Au surplus, on se rappelle que nous avons vu précédemment qu'elles peuvent alimenter les services publics avec la même économie que les hautes chutes. Il importe de bien le retenir. Les moyennes et hautes chutes enverront la majeure partie de leurs chevaux permanents au réseau général et garderont leurs chevaux périodiques pour les industries privées de l'électrométallurgie et de l'électrochimie. Elles feront donc, comme je l'ai annoncé plus haut, du transport de force et de l'électrochimie.

Cherchons un peu à nous rendre compte en quel rapport peuvent être ces deux parts de leur puissance.

Sur le diagramme des débits annuels d'un cours d'eau menons parallèlement à l'axe où les jours sont portés en abscisses, la droite qui passe par l'ordonnée du *débit minimum :* l'aire comprise entre les deux droites représente la somme des chevaux permanents annuels. Menons ensuite, au-dessus de la première, la parallèle correspondant à l'ordonnée du *débit industriel*, celui au-dessous duquel le cours d'eau ne descend pas pendant plus de 200 jours par an en année sèche. L'aire délimitée par cette dernière droite, par la parallèle précédente (débit minimum) et par les proportions du diagramme compris entre ces deux droites représente la somme des chevaux périodiques qui sont produits pendant 8 à 9 mois de l'année. Or, cette somme est souvent le triple et quelquefois le quadruple de celle des chevaux permanents. Combien d'usines en effet parmi celles qui ont été installées ces derniers temps peuvent fournir, par exemple, 12 000 ch durant 8 à 9 mois et seulement 3 000 ch à l'époque du *débit minimum*.

Eh bien ! Messieurs, si nous pouvions baser un calcul sur les estimations les plus pessimistes de nos forces naturelles, nous dirions que sur nos 5 millions de chevaux hydrauliques il y en a peut-être 4 500 000 qui sont aménageables en de moyennes et hautes chutes; que sur ce chiffre 3 500 000 sont des chevaux *périodiques* devant être affectés *exclusivement* aux opérations de la métallurgie

électrique et de la grande industrie chimique. Les services publics auraient alors à leur disposition une puissance d'à peu près 1 500 000 ch *permanents*, dont 1 million provenant des moyennes et hautes chutes et 500 000 des basses chutes. C'est plus qu'il ne leur en faut. Ces chiffres sont certainement inexacts *en valeur absolue*, mais leur *valeur relative* qui est, comme on va le voir, au moins aussi intéressante à considérer présente une probabilité suffisante — parce que basée sur des observations déjà nombreuses — pour nous permettre d'en tirer des conséquences logiques au point de vue économique.

L'électrochimie et l'électrométallurgie seront probablement plus vites prêtes à absorber les chevaux périodiques que les services publics à employer les chevaux permanents. Songez que 100 000 ch peuvent éclairer une population de 3 millions d'habitants et qu'ils représentent la puissance développée par toutes les locomotives fonctionnant en régime sur l'un de nos grands réseaux de chemins de fer. A ne considérer, au contraire, que quelques applications électrométallurgiques et électrochimiques on voit, en escomptant le progrès en marche dans ces branches d'industries, que si des mêmes 100 000 ch on en affectait 20 000 à 25 000 à la production de l'acier (extraction du métal du minerai et raffinage), 10 000 à 12 000 à la fabrication de la soude, 15 000 à 16 000 à la préparation de l'aluminium et 50 000 à 60 000 à la synthèse industrielle de l'acide nitrique, on obtiendrait 80 t d'acier, et autant de soude, 10 t d'aluminium et 100 t d'acide nitrique par vingt-quatre heures. Comptez alors combien il faudra de centaines de mille chevaux pour fournir notre marché de ces produits essentiels. On importe annuellement d'Amérique en Europe à peu près 1 800 000 t de nitrates naturels pour l'agriculture. Jugez donc de l'importance de ce seul débouché quand les *électro-nitrificateurs* en expérience un peu partout seront au point. Les essais industriels qui se poursuivent à ce sujet dans les usines du Niagara nous permettent d'espérer que ce sera très prochainement.

Il faut bien, d'ailleurs, que les progrès des applications de la forme électrique de l'énergie aux industries chimiques et métallurgiques précèdent la mise en œuvre de la grande masse de nos forces hydrauliques. Les basses chutes peuvent tout de suite être captées pour les services publics qui sont à leur portée. Mais les hautes chutes, elles, ne peuvent vivre avec le seul revenu de leurs chevaux permanents, parce que, pour les raisons

vues plus haut, cette part de leur puissance, livrée à un service public, ne constitue pas pour elles un bénéfice plus grand que celui récolté par une basse chute fournisseur du même service. Cette dernière lui fera une fourniture massive et le bénéfice. quoique faible compté par cheval, constitue néanmoins sur l'ensemble une rémunération suffisante. Dans la haute chute, la fourniture au service public ne sera que le tiers ou le quart de la *puissance industrielle;* si la rémunération sur cette partie est faible il faut bien qu'il y ait compensation sur les chevaux périodiques qu'elle ne peut même pas encore vendre bien cher à l'usine électrochimique; mais heureusement ces derniers constitueront ici le produit massif du revenu grâce à leur emploi par grande quantité. Il faut donc, pour voir l'industrie hydro-électrique occuper le champ ouvert à son activité et dont nous ne connaissons point les bornes, que les industries de la chimie et de la métallurgie électriques aient réalisé les espérances qu'on fonde à bon droit sur elles. D'heureux résultats d'expériences patiemment poursuivies peuvent nous apprendre demain que ces espérances sont en voie de réalisation. Et peut-être, étant donnée l'énorme quantité de capitaux qui cherchent un placement, toutes les chutes qui sont prêtes à être aménagées, tous les Ingénieurs sans emploi, faudra-t-il alors redouter un emballement analogue à celui que fit naître le carbure de calcium? Pour que tout aille bien, il faut que chaque chose se fasse en son temps!...

Quand le temps, qui met tout en place, aura soudé tous les réseaux de distribution d'énergie de toutes les usines hydrauliques, et l'aura complété par des stations génératrices à vapeur; quand tous nos chemins de fer seront mus par le tracteur électrique et que la houille blanche se sera substituée à la houille noire dans le four métallurgique et l'usine de produits chimiques, nos successeurs pourront dire que le problème de la *meilleure utilisation* de nos forces hydrauliques est résolu. La tonne d'acier comme celle de nitrates élaborées par l'énergie moins chère des hautes chutes seront transportées au chantier de construction comme à la ferme agricole au moyen de l'énergie produite au plus bas prix possible par la combinaison rationnelle de la houillère noire avec l'usine hydraulique. Nous ne voyons encore cela que dans le lointain, mais tous nos efforts, Messieurs, doivent tendre méthodiquement à préparer cet avenir.

Le progrès industriel marche à grand pas vers la solution des

problèmes techniques dont a besoin le temps pour accomplir cette œuvre. Il ne faut pas qu'une législation irraisonnée vienne, à un moment donné, rendre infécond le labeur des techniciens. Quel doit donc être le principe directeur de cette législation? C'est apparemment de demander à l'État l'organisation des services publics avec tous les progrès que l'industrie met à sa disposition, et à l'initiative privée la féconde exploitation de nos richesses naturelles; puis de mettre l'un et l'autre en possession de leur champ d'action respectif.

Or, l'État a besoin d'énergie hydro-électrique pour l'organisation nouvelle de ses services publics ; il a droit à une part de nos richesses naturelles. Mais cette part, il la possède déjà. N'est-il pas possesseur des cours d'eau navigables et flottables? Et n'est-ce point sur ces cours d'eau que se trouvent les basses chutes, les plus immédiatement susceptibles d'affectation aux services publics? Ces cours d'eau qu'il s'était attribués autrefois dans un autre but et qui avaient perdu leur valeur, en reprennent une toute nouvelle, grâce à l'utilisation possible de la puissance dynamique *dont ils sont riches dans les parties amont de leurs sections flottables*. Quelle est l'importance de sa part? Cela est difficile à dire, mais il est certain qu'elle est amplement suffisante pour faire face à toutes les demandes futures de ses services publics. Les quelques chiffres donnés plus haut, malgré leur approximation, ne laissent aucun doute à cet égard. N'a-t-on pas vu, en effet, qu'il ne pourra guère utiliser que 200 000 à 300 000 ch pour ses chemins de fer, le plus considérable incontestablement de ses services publics. Et si l'on voulait poser un chiffre, on pourrait dire qu'en basses et moyennes chutes il possède au moins 700 000 à 800 000 ch. L'État possesseur des cours d'eau navigables et flottables a donc tout ce qui lui est nécessaire en fait de forces hydrauliques. Il ne s'ensuit pas qu'il ne puisse avoir le droit, quand besoin sera, de puiser de l'énergie à une chute hors de son domaine, de le faire au même titre qu'un particulier. Il lui arrivera assez fréquemment d'être obligé de capter des hautes chutes parce que c'est dans leur zone d'action que se trouvera la partie du service qu'il veut pourvoir d'énergie électrique. Cela devra lui être permis. Mais comme l'État n'aura besoin que des chevaux permanents et qu'il perdrait à les aménager sans installer avec eux un certain nombre de chevaux périodiques, il faudra qu'il puisse vendre ceux-ci à l'industrie privée.

De cette obligation où il sera de capter des hautes chutes en résulte-t-il qu'il doive s'approprier toutes celles-ci? Non assurément. Ce n'est point une raison de prendre vingt chutes ou peut-être davantage parce qu'il aura besoin du tiers ou du quart de l'une d'elles! Et d'ailleurs, que ferait-il de tous leurs chevaux périodiques?... Il devrait les vendre à l'industrie privée. L'État a-t-il intérêt à vendre de l'énergie? Ce n'est pas son rôle.

Les moyennes et hautes chutes se trouvent sur les cours d'eau non navigables ni flottables qui appartiennent aujourd'hui à leurs riverains. Or, nous avons vu que ces chutes sont précisément celles qui ont le plus besoin d'une affectation industrielle sans laquelle, d'ailleurs, elles ne s'installeront jamais. Si, comme nous l'avons supposé plus haut, il y a 4500000 ch aménageables en moyennes et hautes chutes, il faut, pour qu'ils cessent un jour de rouler les cailloux sur leur lit *en détériorant notre appareil hydraulique*, que l'industrie privée crée de toutes pièces des applications susceptibles d'en absorber l'énorme masse de 3500000. C'est à peu près l'équivalent des trois quarts de l'énergie que dégage la houille actuellement brûlée dans nos ateliers et nos usines métallurgiques et chimiques. Malgré tout l'espoir qui plane sur les laboratoires de nos chercheurs, ces applications ne verront pas le jour de la prospérité sans un effort colossal de cette industrie privée. Et ce n'est que quand elle aura mis en œuvre cette part de richesse dont seule elle peut tirer parti, que nos réseaux de distribution d'énergie pourront s'établir, qu'il leur sera alors possible de souder leurs mailles en ce vaste réseau complété par la houille noire et auquel viendront s'alimenter les services publics. Car il faut bien observer que la loi de progrès qui domine l'évolution de l'économie industrielle, en France, ira toujours en s'affirmant de plus en plus avec la centralisation administrative : l'*Administration suit le progrès, mais c'est l'Industrie privée qui l'engendre*. C'est l'Industrie privée qui a créé les forces hydrauliques, c'est elle qui réalisera l'œuvre du meilleur emploi de notre « énergie française » et l'État qui en profitera.

Eh bien! Messieurs, ne vous paraît-il pas que ce partage de nos richesses hydrauliques entre l'État et les particuliers devrait être fait de nos jours s'il n'existait pas déjà en vertu du classement ancien de nos cours d'eau en navigables et non navigables? Il n'y a plus qu'à changer les choses de nom en appelant par exemple la première catégorie de nos cours d'eau : forces hydrau-

liques publiques, et la seconde : forces hydrauliques privées !...

Nous pouvons donc conclure que la solution du problème de la *meilleure utilisation* de nos forces hydrauliques doit être poursuivie à la faveur d'un régime législatif qui laisse à l'État ce qui appartient à l'État, et à l'industrie privée ce qui est à elle. Dès lors, le régime de la concession des chutes d'eau par l'État sur les rivières non navigables ni flottables ne nous paraît pas devoir être le moyen rationnel de favoriser cette solution. Il faut chercher mieux, et nous allons maintenant analyser ce qui a été tenté dans ce sens du mieux.

---

## LÉGISLATION DES CHUTES D'EAU

### § 1. — Avantages et inconvénients de la législation actuelle.

Nous avons vu, par ce qui précède : 1° que les riverains des cours d'eau non navigables ni flottables sont bien maîtres de leur puissance dynamique, et 2° qu'il convient, pour réaliser la meilleure utilisation de cette puissance, de leur en assurer la libre disposition.

La première de ces deux conclusions a été jusqu'ici le fondement de notre législation des chutes d'eau ; la seconde doit seule inspirer le sens et dicter la lettre des perfectionnements à y apporter. C'est sous l'empire de cette législation que depuis vingt ans nous avons créé l'industrie des forces hydrauliques, riche déjà de ces 200 000 ch livrant l'énergie aux applications les plus diverses. Mais le Code de la houille blanche, si je puis ainsi parler, est surtout fait des articles de jurisprudence auxquels ont donné lieu les difficultés juridiques soulevées par la création des premières usines ; il est donc fait de solutions superposées constituant un corps de doctrine qui supplée à l'absence de toute loi ancienne ou récente sur la matière. J'ai expliqué, dans la première partie de ce mémoire, comment il a pu se faire que le Législateur de 1804 ait songé à l'emploi des eaux courantes comme agent d'énergie et n'ait pas jugé nécessaire d'en réglementer l'usage ; je n'entre pas dans l'historique des faits qui, à défaut d'un texte formel du Code civil, ont érigé son article 644 en phare au milieu des procédures. Ce corps de doctrine qui en est

résulté date, comme vous le savez, Messieurs, du jour où Bergès et Marcel Déprez nous eurent démontré qu'on pouvait allonger les canaux de dérivation bien en dehors des limites de riveraineté appartenant aux usines hydrauliques. Il a, jusqu'à maintenant, suffi à cette jeune industrie pour vaincre tous les obstacles d'ordre juridique qui ont entouré sa naissance; cela prouve sa puissance expansive. Faute d'une législation plus propice, elle dispose, par la ténacité et les moyens d'action de ses créateurs d'assez de ressort pour continuer à élargir son domaine. Il est temps cependant d'abattre les obstacles qui la gênent.

Pour tirer le meilleur parti possible de la puissance dynamique d'un cours d'eau il faut réunir, en une seule chute, toutes les chutes partielles que chaque riverain, maître sur un domaine qui lui appartient, a le droit de réaliser dans l'étendue de sa rive. C'est apparemment faire œuvre d'utilisation collective, comme je l'ai dit en soulevant la question de savoir si ces rives des cours d'eau non navigables ni flottables ne devaient pas appartenir à l'État. Si cette utilisation collective pouvait servir l'intérêt de la communauté des citoyens, telle la création d'un canal navigable par exemple, ou d'une route, il y aurait lieu d'en réserver la possession au domaine public. En vertu de ce principe, l'organisation des chutes auxquelles sont intéressés les services publics comporte la propriété acquise à l'État du lit occupé et c'est, nous l'avons vu, ce qui est réalisé sur les cours d'eau flottables plus spécialement propres à cette organisation. Mais quand ladite utilisation collective doit avant tout servir des intérêts particuliers ainsi qu'il en est pour les chutes sur les rivières non navigables ni flottables, elle doit être laissée à l'initiative des intéressés et l'État ne doit intervenir dans leurs affaires que pour veiller à ce que chacun respecte la liberté de ses voisins et ne trouble pas la sécurité générale. Ce principe est de droit commun depuis la Révolution et c'est le même qui permet à un grand agriculteur de dire à de petits propriétaires : « vous laissez vos terres en friches parce que vous n'avez pas les moyens de les cultiver; je vais vous donner une somme de..... et vous me laisserez en tirer le revenu qu'elles peuvent donner en leur appliquant les procédés modernes de culture rendus possibles par l'étendue du champ qui sera formé de leur réunion ».

Nous revenons ainsi à cette formule déjà trouvée, en cherchant à qui appartenait l'énergie cinétique des cours d'eau de la deu-

xième catégorie : La condition nécessaire et suffisante pour qu'un riverain puisse établir une chute est qu'il possède tous les *droits de riveraineté* des autres propriétaires intéressés par la création de cette chute. Toute la législation actuelle est basée sur cette formule. Et je me propose, Messieurs, de vous convaincre qu'il n'y faut rien changer; que le mieux est seulement de rendre plus mobilisable le droit de riveraineté. Il n'en faut pas davantage pour faire que notre législation des chutes d'eau devienne infiniment féconde.

Rappelons sommairement le mécanisme de la procédure actuellement suivie pour la création d'une grande usine hydraulique. En vertu de l'article 11 de la loi du 8 avril 1898, toute usine a le droit de s'installer à la faveur d'un simple arrêté préfectoral, rendu après enquête, sur la demande faite par l'industriel d'établir ses ouvrages de dérivation. L'autorisation est donnée dans les formes prescrites par la circulaire du 21 octobre 1851 et le décret du 25 mars 1852. Une fois accordée, cette autorisation ne peut plus être retirée ou modifiée sans indemnité que pour des motifs tirés de l'intérêt public et du même ordre que ceux qui auraient pu servir de base à un refus. L'article 14 de la loi de 1898 énonce ces motifs : nécessité de prévenir les inondations, de conserver aux eaux leur écoulement naturel, d'assurer la salubrité publique ou la bonne répartition générale des eaux, le tout dit l'article 9 « de manière à concilier les intérêts de l'agriculture et de l'industrie avec le respect dû à la propriété et les droits et usages antérieurement établis ».

L'Administration, simplement chargée de la police des cours d'eau, n'a pas le droit de soumettre l'autorisation à des conditions arbitraires, ni d'exiger une redevance, ni d'imposer à l'industriel tel emploi de l'eau dérivée plutôt que tel autre. Elle n'a pas non plus à se prononcer sur les droits respectifs des riverains les uns à l'égard des autres. Mais l'autorisation étant expressément donnée *sauf les droits des tiers*, si un riverain régulièrement autorisé empiète en fait sur les droits de ses coriverains, ceux-ci peuvent agir contre lui en règlement d'eau judiciaire et le Tribunal saisi de la demande a le pouvoir d'aller jusqu'à prescrire l'enlèvement des ouvrages construits après avoir été autorisés. L'article 645 du Code civil, en effet, dit bien au Tribunal qu'il doit, en pareil cas, *concilier les intérêts de la propriété avec ceux de l'agriculture*, mais aucun texte ne lui donne ce rôle de concilia-

teur lorsqu'il s'agit d'un conflit entre la *propriété* et *l'industrie*. Enfin, sous le régime de cette législation inachevée l'usinier ne peut pas non plus invoquer les servitudes d'aqueduc et d'appui de barrage que les lois de 1845 et 1847 n'ont établies qu'en faveur de l'irrigation.

Dans le monde de l'Économie politique et du Droit qui a pris contact avec le monde de l'industrie des forces hydrauliques, la vue des quelques difficultés non résolues par ces dispositions législatives a fait naître un irrésistible courant d'opinions qui, toutes, aboutissent à cette conclusion : il faut une loi nouvelle. Certes, les hommes du métier sont les premiers à reconnaitre que leur tâche serait grandement facilitée par l'introduction dans notre Code rural de quelques formules nouvelles touchant le régime *industriel* des eaux ; mais ces hommes qui agissent et parlent peu, qui résolvent la difficulté et n'épiloguent point en demandent beaucoup moins pour aller plus vite de l'avant, que les économistes solutionnant les difficultés dans les livres. Il ne faut pas chercher midi à quatorze heures, mais bien voir les difficultés là où elles sont.

Remarquez, Messieurs, que la législation faite des articles 644 et 645 du Code civil, des textes de 1845 et 1847 créant les servitudes d'aqueduc et d'appui de barrage et enfin de la loi du 8 avril 1898, donne à l'agriculteur toutes facilités pour prendre l'eau dont il est riverain sur une partie seulement de son domaine dans le but de la faire servir à l'irrigation de ce domaine, quelle qu'en soit l'étendue. En effet, celui dont la propriété borde une eau courante, autre que celle qui est déclarée dépendante du domaine public, peut s'en servir à son passage pour l'irrigation de ses propriétés (art. 664). S'il s'élève une contestation entre les propriétaires auxquels les eaux peuvent être utiles, les tribunaux, en prononçant, doivent concilier l'intérêt de l'agriculture avec le respect dû à la propriété (art. 645). Moyennant juste et préalable indemnité, le propriétaire de ce domaine agricole a le droit, pour prendre l'eau, d'appuyer un barrage sur la rive qui ne lui appartient pas s'il possède l'autre, et d'imposer à ses coriverains le passage de son aqueduc sur leurs terres (lois de 1845 et 1847). La loi du 8 avril 1898 contient les prescriptions relatives à la manière d'user de ces droits, tel notamment l'article 10 plus haut cité.

Dans tout cela n'y a-t-il pas un fait qui vous frappe ? Le rôle de conciliateur donné au juge civil dans les conflits entre co-usagers

de l'eau. Qu'un riverain vienne à empiéter sur le droit d'un autre : le différend est soumis au Tribunal qui apprécie l'importance du préjudice causé et ordonne sa réparation en argent ou en nature. *Ce principe de l'interposition du Juge entre des intérêts en désaccord*, dominant notre législation rurale, *a l'inestimable avantage d'éviter toute ingérence administrative dans les affaires entre particuliers.* Il est tellement enraciné dans notre vie sociale qu'il ne semble pas qu'il puisse venir à l'esprit de personne l'idée de le remplacer par une action administrative.

C'est pourtant ce qu'ont proposé de faire des novateurs en matière juridique. Un industriel, se sont-ils dit, qui veut installer une chute, doit dans le *modus vivendi* actuel, *devenir* riverain ; en conséquence, il doit d'abord se faire céder par les riverains leur droit à l'usage de l'eau, et ensuite, pour construire ses ouvrages de dérivation, acquérir des propriétaires l'emplacement de sa prise d'eau, de ses canaux d'amenée et de fuite. Or, la réunion en une même main de nombreux droits de riveraineté et l'acquisition des terrains nécessaires à l'établissement des ouvrages de dérivation ne vont point ordinairement sans de longues discussions retardant l'industriel dans l'exécution de ses projets ni sans de lourdes dépenses, parfois disproportionnées avec l'importance de l'installation et qui grèvent pour longtemps le prix de revient de l'énergie. Et encore heureux, relativement, est l'industriel qui arrive à ses fins moyennant ces sacrifices de temps et d'argent. Combien en est-il qui, devant les prétentions exorbitantes de ceux qu'on appelle les « barreurs de chute », ont dû renoncer à des créations susceptibles d'amener la vie et la richesse dans des pays désertiques ! D'autre part, sur les pentes abruptes des gorges au fond desquelles coulent les torrents qui se prêtent le plus avantageusement à l'utilisation industrielle, les limites entre fonds riverains sont souvent indécises. On a déjà vu qu'un usinier se croyant en règle avec tous les riverains en apparence intéressés a été, une fois son installation terminée, en butte aux réclamations d'un tiers insoupçonné. On a vu Bergès, le créateur de Lancey, berceau de l'industrie nouvelle, condamné par une décision du tribunal de Grenoble, le 5 avril 1900, à démolir la prise d'eau qui alimentait son usine sous la première chute de 500 m, parce que des droits qui ne s'étaient point révélés au moment des travaux lui furent ensuite opposés. La Cour de Grenoble, par sa décision du 7 août 1901, on le sait, statua en sens

contraire heureusement. Cet état de choses est donc au plus haut point néfaste au développement de l'industrie des chutes d'eau, se sont dit des jurisconsultes, et le moyen d'y remédier se trouve dans le principe de la *concession administrative.* Donnons à l'industriel le pouvoir d'expropriation en faisant déclarer son usine d'utilité publique : le *concessionnaire* d'une chute hydraulique pourra passser outre à toutes les obstructions, qu'elles soient systématiques ou inspirées par des intérêts mal compris.

L'idée d'appliquer ce principe, une fois lancée dans le monde économique et juridique qui s'intéresse à notre industrie, devait faire son chemin, car elle est de celles dont le mérite n'a d'égal que l'ingéniosité. Il est devenu très difficile de remonter le courant d'opinions nées de cette idée. Du jour (3 mars 1898) où elle fut mise en avant par l'honorable M. Jouart, député du pays d'où vient la houille blanche, les projets de législation l'ont mis en articles plus ou moins nombreux. Ce fut d'abord le projet gouvernemental du 6 juillet 1900 qui appliquait aux chutes d'eau le régime de la concession *temporaire* comme aux entreprises de travaux publics; et ce fut ensuite le projet de la Commission parlementaire chargée de l'examen du premier qui proposa la concession *perpétuelle* ainsi qu'en matière de mines. Les industriels qui n'avaient encore rien réclamé, bien qu'ils fussent les premiers intéressés, s'attendaient à tout sauf à ce remède aux difficultés dont ils triomphaient en somme avec beaucoup d'adresse et sans trop de dommages. Fort surprise d'être tenue pour malade malgré elle, l'industrie des forces hydrauliques ne songea tout d'abord qu'à faire surseoir à la promulgation de ces projets établis sans que son avis à elle, seule en cause, lui fut seulement demandé. Elle voulait réfléchir et sur l'opportunité de la réforme et sur sa valeur et sur ses conséquences. C'était bien la moindre initiative qu'elle pût prendre. Elle réunit donc tous ceux que sa cause intéressait, en ce fameux Congrès de la houille blanche à Grenoble, en septembre 1902; je ne vous en dirai rien, car vous en avez déjà cent fois entendu parler et ici même, notamment par M. Pinat, qui en fut le distingué président. Vous savez que de retentissants débats s'y sont engagés sur toutes les propositions de lois concernant l'industrie des forces hydro-électriques et depuis se sont poursuivis dans les milieux intéressés. On a beaucoup parlé et non moins écrit....

Les industriels possesseurs de forces hydrauliques ont objecté

aux promoteurs de la concession administrative : une concession, en matière de biens fonciers, c'est le droit d'user de ce qui lui appartient donné par le propriétaire au non-possédant sous des conditions déterminées par un contrat; or, l'État ne possède pas les cours d'eau non navigables ni flottables, il ne peut donc pas concéder leurs chutes. Les étatistes ont répondu : dans l'intérêt général d'une meilleure utilisation des forces hydrauliques, l'État doit *reprendre* le lit de ces cours d'eau et les incorporer à son domaine. En moins de vingt ans, nous y avons créé 200 000 ch, ont riposté les premiers; est-ce là ce qu'on peut appeler une mauvaise utilisation; que l'on nous trouve des débouchés à l'énergie des chutes d'eau, ont-ils ajouté et, avant dix ans, 300 000 autres chevaux seront joints aux précédents. C'est une richesse nouvelle dont on ne peut faire cadeau aux riverains, ont prétendu certains économistes, parce que venant de l'eau qui n'est à personne elle doit être à l'État. Non, c'est une richesse jusqu'ici *inexploitée* parce qu'on n'avait pas trouvé les procédés voulus pour son exploitation, disent les inventeurs des moyens nouveaux; depuis Vitruve, au siècle d'Auguste, on savait ce qu'est une chute d'eau, le tout était : 1° de pouvoir en aménager de très puissantes et, 2° de savoir à quoi employer leur énergie; tant que ces moyens n'ont pas été connus, on n'a pas songé à contester la propriété de cette richesse aux riverains jalousés depuis. Si on laisse faire l'industrie privée, ont enfin soutenu d'autres défenseurs du régime étatiste, elle aura bientôt accaparé toutes les forces hydrauliques et, lorsque l'État voudra de l'énergie pour ses services publics, il lui faudra subir les conditions spéculatives de cette industrie. Demandez-nous de l'énergie, ont répondu les propriétaires de forces hydrauliques, nous manquons de débouchés, faites des chemins de fer électriques, amenez-nous des clients, nous avons vingt propositions à soumettre pour une demande qui nous est faite et nous ne craignons que l'avilissement des prix par la concurrence aussi fatale ici que partout.

Bref, on discutait encore quand, au mois de mai 1903, M. Mougeot, ministre de l'Agriculture, prit le parti, loué de tous, de réunir les plus autorisés des plaideurs en une Commission extra-parlementaire, à laquelle il donna pour mission « d'étudier les mesures législatives à prendre en vue d'assurer une meilleure utilisation des forces hydrauliques ». Cette Commission, composée de jurisconsultes, d'ingénieurs et de représentants des industries hydro-électriques, se plaçant au point de vue gé-

néral qui envisage aussi bien l'intérêt des particuliers que celui des industriels et des agriculteurs, a fourni les éléments du projet de loi que le ministre de l'Agriculture a déposé le 15 janvier 1904 sur le bureau de la Chambre des députés.

C'est de ce nouveau texte qu'il faut s'occuper. Mais, avant d'y arriver, je m'arrête encore, Messieurs, à vous faire bien remarquer comment cette idée de concession administrative a fait son chemin rapidement dans les milieux... administratifs, malgré nos habitudes et notre besoin d'indépendance dans la gestion de nos affaires. Serait-ce donc qu'en tout Français il y a un fonctionnaire qui sommeille ! A mon humble avis, on a, comme je l'ai dit plus haut, vu bien des difficultés où il n'y en a pas. Le barreur de chutes a pris aux yeux de certains réformateurs l'aspect de l'hydre aux cent têtes que, seule, l'invincible Administration pouvait abattre. Ceux qui ne l'ont jamais vu se sont imaginés que, toujours aux aguets sur nos cours d'eau il en écartait le créateur de chutes et que, véritable *bête noire de la houille blanche*, il était le grand obstacle à sa mise en œuvre plus rapide. Évidemment, cette idée suscitait la vengeance et appelait le bras qui terrasse. Mais, heureusement, cet être que la légende a grossi ne fait pas autant de mal qu'on le croit. Mes occupations professionnelles m'entraînent dans bien des affaires où je devrais le rencontrer; je vous dirais qu'il s'est rarement montré, et quand nous l'avons vu c'était sous les espèces et apparences d'un monsieur qui cherchait à éprouver notre ténacité et finissait toujours par nous céder la place : le tout est de savoir s'y prendre. Je suis, Messieurs, bien tenté de vous dire quelques anecdotes montrant sous quelles formes il se présente le plus souvent, mais celà me conduirait trop loin. Je puis vous certifier que, rien que dans trois ou quatre départements des Alpes, il y a plus de 250 000 ch répartis entre 50 ou 60 chutes, qui sont toutes prêtes à installer : tous les droits de riveraineté sont entre les mains des auteurs des projets ; on peut commencer les travaux sans crainte d'aucune difficulté d'ordre juridique. Si vous voulez vous rendre compte par vous-mêmes de ce que j'avance, offrez-vous la fantaisie de mettre dans un journal une annonce ainsi conçue : « On demande à acheter une chute, etc. » Vous ferez le total des chevaux qui vous seront offerts. — *Ce n'est pas le barreur qui arrête, mais le manque de débouchés.*

Cependant, il y a une forme sous laquelle on rencontre par-

fois le barreur et sous cette forme-là il est inexpugnable, parce que ce n'est plus un monsieur à qui l'on peut causer, mais une vieille dame noble qui ne veut rien entendre : j'ai nommé l'Administration en personne. Oh ! elle ne le fait point exprès, mais bien inconsciemment. Ses fonctionnaires se retranchent derrière des règlements d'administration publique et alors vous entendez la réponse : « On ne passe pas ! » Vous citerais-je un exemple typique tout récent? Une grande Compagnie de transport d'énergie hydro-électrique a besoin de faire traverser le Rhône à ses conducteurs électriques. La ligne droite... est le plus court chemin. Au bord du fleuve qui, à ce point de passage, a plus de 300 m de large, l'Administration surgit et dit : « Passez, mais à 17 m *au-dessus des plus hautes eaux !* » Vous voyez d'ici les deux tours Eiffel, qu'en raison de la flèche des câbles il faudrait élever sur les berges. A l'amont et à l'aval il y a des ponts : inutile de vous dire qu'ils n'ont pas 17 m de tirant d'air au-dessus des plus hautes eaux.

Le *barrage* n'est donc pas où l'on pense et alors ne vous semble-t-il pas qu'on ait voulu mobiliser beaucoup de forces pour abattre un obstacle peu résistant? Je vous ai montré dans la première partie de ce mémoire, en parlant de la *meilleure utilisation* des forces hydrauliques, que les 19/20e des chutes sur les cours d'eau non navigables ni flottables ne peuvent pas être utilisées par d'autres metteurs en œuvre que les industriels dans des usines privées — tellement privées même que la porte en est défendue à quiconque est capable de surprendre un détail de leurs fabrications électrochimiques ou métallurgiques. (Avec beaucoup d'esprit, l'un de nos plus distingués collègues, au moment du Congrès de la houille blanche, les appelait l'*industrie des portes fermées !*) — Eh ! bien, ces usines, qui pour les raisons que j'ai expliquées, seront toujours disposées à consentir librement des marchés de gré à gré avec tous les services publics pour leurs chevaux permanents, sous-produit de leur puissance, ne sont-elles pas absolument assimilables au domaine agricole qui fait de l'irrigation ?

Usine et terre appartiennent d'une façon, que je suis très étonné de voir tant discutée, identiquement et aux mêmes titres, à la même catégorie d'intérêts privés. Pourquoi, dès lors, n'appliquerait-on pas à l'usine le même régime législatif qu'à la terre? Quand un conflit surgit entre deux riverains *agriculteurs*

le Juge civil départage leurs revendications. Quand un riverain *industriel* a des démêlés avec un autre riverain quelconque, pourquoi ce même Juge civil ne déterminerait-il pas, à dire d'experts, ce qu'en bonne justice l'un doit à l'autre ?—Voilà une formule simple, connue, expéditive. On a mis longtemps pour trouver qu'elle s'applique à l'*industrie* hydraulique. Mais enfin mieux vaut tard que jamais. Vous allez voir qu'elle constitue le fond de la loi projetée, et c'est ce qui convient le mieux à notre industrie.

## § 2. — Économie générale du projet de loi.

« Cette législation, dit l'exposé des motifs, ne se présente point comme abrogeant l'ancienne : non seulement les usines créées antérieurement conservent leur situation, mais encore on pourra continuer d'en créer de semblables. On n'usera de la loi nouvelle que si on le veut ; *elle apporte des facilités que l'on reste libre d'invoquer ou de répudier* ». Voilà bien nettement dépeint l'esprit de la nouvelle loi : elle n'abolit rien dans le système qui a permis à l'industrie des chutes d'eau de prendre son élan : elle met, à la roue du progrès qui l'emporte, l'organe voulu pour « boire l'obstacle », tout en laissant aux industriels la liberté de ne s'en servir que dans le cas de nécessité. Le créateur d'une usine est-il conduit, par des raisons que dicte l'intérêt de son œuvre pour le pays, à passer outre aux exigences d'un riverain dont les tergiversations menacent de durer, le Juge civil, au moyen d'une expertise, appréciera en argent la valeur du droit de riveraineté dont celui-ci perdra la jouissance.

D'autre part, l'Administration pouvant avoir intérêt dans certains cas, ainsi que je l'ai dit, à capter des chutes sur les cours d'eau non navigables ni flottables, elle pourra le faire en donnant le pouvoir d'*expropriation* au *concessionnaire* qui installera la chute. Celle-ci n'aura pas besoin d'être comprise dans la clause même d'utilité publique en vertu de laquelle existe le service qu'elle sera chargée de pourvoir d'énergie. Usine génératrice et service public employant l'énergie seront deux concessions administratives distinctes. On comprend très bien que cette usine soit « d'utilité publique », en raison de sa liaison *organique* avec le service public. *Administrativement*, cette organisation est l'équivalent de cette autre : est « propriété privée » l'usine hydraulique qui alimente une *industrie privée*, bien que producteur et

consommateur d'énergie existent sous des raisons commerciales distinctes. Et, disposition plus logique encore, c'est que de même que l'Administration peut être, en vertu d'un récent décret, cliente de l'industrie privée, celle-ci pourra devenir réciproquement la cliente de l'usine déclarée d'utilité publique pour les chevaux périodiques non absorbés par le service public. La loi projetée introduit à cet effet une modification très heureuse, dans les principes généraux du droit en matière d'expropriation. Nous y reviendrons plus loin.

Les usines qui voudront bénéficier des dispositions du régime proposé viendront donc se placer, soit dans la catégorie des usines *privées* dites « privilégiées », soit dans celle des usines d'*utilité publique* appelées « autonomes ». L'exposé des motifs définit clairement leur situation.

« Les usines *privées privilégiées* seront dit-il autorisées par un décret en Conseil d'État; on exigera du demandeur qu'il possède déjà une partie au moins (le cinquième), des droits nécessaires à leur établissement, et on lui imposera certaines réserves en faveur des intérêts divers que le cours d'eau peut être appelé à desservir, notamment en faveur de l'irrigation et des services publics.

» Mais l'usine ainsi établie n'en sera pas moins une usine privée, propriété incommutable du permissionnaire; l'autorisation lui sera accordée, comme dans la loi de 1898, *sauf les droits des tiers* (article 7); seulement quelques-uns de ces droits, et notamment la plupart de ceux dont il n'aurait pas encore été fait un usage collectif, seront susceptibles d'être transformés en indemnité (article 8).

» Il appartiendra aux Tribunaux civils de prononcer sur les restitutions d'eau en nature et sur les indemnités qui pourront être réclamées; *ils auront, en prononçant, à concilier l'intérêt de l'industrie avec celui de l'agriculture et avec le respect de la propriété* (articles 7 et 9).

» Ces usines pourront invoquer des servitudes d'aqueduc et d'appui de barrage analogues à celles qui sont établies en faveur de l'irrigation par les lois de 1845 et 1847; elles pourront, en outre, imposer aux terres riveraines, dans certaines conditions, la submersion provenant de la retenue du barrage. »

Voilà donc le rôle de conciliateur donné au Juge civil lorsque l'intérêt de l'Industrie se heurte à celui de l'Agriculture et au « respect de la propriété »; et les servitudes d'aqueducs et d'ap-

pui de barrage accordées à l'industriel au même titre qu'à l'agriculteur. L'Industrie et l'Agriculture sont, par ce fait, traitées sur pied d'égalité et c'était, avons-nous déjà dit, justice *nécessaire* et *suffisante*. — Les créateurs de chutes, en effet, n'en demandent pas davantage. Ces dispositions leur permettent de vaincre l'obstruction des *particuliers*, si elle se présente. En cas de conflit, on ira devant le juge qui se prononcera sur le dire des experts. Remarquez, Messieurs, que cette seule possibilité de faire appel au juge éloignera bien des tentatives de... marchandage qui, en réalité, sont *actuellement* l'unique impédimentum dans les négociations *rapides* des droits de riveraineté. Quand certains possesseurs, plus particulièrement résistants à la cession de ces droits, sauront que désormais un industriel pourra passer outre à leurs exigences *déraisonnables* en invoquant le bénéfice de la loi nouvelle, ils se montreront plus conciliants, c'est certain.

Si la loi est votée nous allons donc conserver le *modus vivendi* dont l'industrie *privée* n'a jamais réellement souffert plus longtemps que la durée de quelques procès retentissants, mais qui n'ont, en aucun cas, empêché la création d'aucune grande usine hydraulique. Ce résultat, Messieurs, est d'une importance que vous saisissez. Le maintien de ce *modus vivendi* a le très grand avantage de permettre à l'installateur de chutes que nulle négociation difficile n'arrête et qui est sûr des titres établissant les droits de riveraineté qu'il achète, d'agir en toute indépendance, de s'affranchir de la tutelle administrative, de rester maître de l'intégralité de sa production. Cette liberté — ce n'est pas moi qui vous l'apprendrai — est un bien si précieux que sans lui la lutte de l'homme d'industrie contre toutes les difficultés à vaincre pour trouver un débouché aux millions de chevaux périodiques dont nous avons parlé risque de n'être plus possible. Aussi, pour le conserver, beaucoup d'industriels préféreront-ils encore batailler longtemps avec des riverains plutôt que de recourir à la loi nouvelle qui fait cette liberté moins entière. Nous allons voir plus loin qu'elle crée des servitudes aussi gênantes qu'inutiles.

Je vous fais remarquer que d'après cette loi ce n'est plus l'autorité préfectorale qui donne à l'industriel la permission d'établir son usine après que l'enquête de ou des administrations compétentes a déclaré que la dérivation ne compromettait ni l'écoule-

ment naturel des eaux, ni la sécurité publique. C'est l'autorité plus haute, celle même du Conseil d'État. L'article 3 dit, en effet : « La demande est soumise à une enquête, etc. Il est statué *par un décret rendu en Conseil d'État*, soit pour admettre la demande, soit pour la rejeter, si les conditions nécessaires pour obtenir l'autorisation prévue par la loi du 8 avril 1898 et celles qui résultent de la présente loi ne sont pas remplies, ou s'il ressort de l'enquête des oppositions dont il conviendrait de tenir compte. Etc. » Cette formule d'autorisation constituera le titre légal particulier et sera le signe caractéristique des usines rangées dans la catégorie dite « privilégiée ». Ainsi, on procède par gradation : aux usines conservant l'ancien régime, la simple autorisation préfectorale; aux usines *privilégiées*, le décret en Conseil d'État; et enfin aux usines *d'utilité publique* les formalités administratives de la concession. A cela nous ne voyons pas d'inconvénients si ce n'est pour les usines nouvelles invoquant le bénéfice de la loi, une procédure d'autorisation extrêmement longue et entraînant des démarches et des efforts aussi rebutants que la négociation la plus difficile des droits de riveraineté. Mais ce ne sera pas toujours inutile et les inconvénients sont ailleurs.

Dans chaque cas particulier, les industriels auront, entre deux maux, à choisir le moindre. Quand ce sera le décret en Conseil d'État, seront-ils du moins assurés d'en retirer des compensations qui justifient ce titre de *privilégiés?* Nullement, comme je veux essayer de vous en convaincre.

Les formalités tracassières vont commencer avec la demande d'autorisation des ouvrages. Quand elles aboutiront au résultat qu'on cherche, il n'y aura que demi-mal. Mais la loi contient un gros point d'interrogation. Vous avez bien fait attention à cette ligne de l'article 3 précédemment cité : « ... *ou s'il ressort de l'enquête des oppositions dont il conviendrait de tenir compte.* » Ceci est une porte grande ouverte à l'ingérence administrative. Si nous n'en avions pas déjà des exemples, peut-être ne nous en méfierions-nous pas. Tous ceux qui s'occupent de l'installation des chutes d'eau ont entendu parler de l'affaire Pagès. Cet industriel voulant créer une dérivation sur la Loire s'était rendu propriétaire de la plus grande partie des terrains bordant la rive droite dans la partie non navigable ni flottable qui forme la boucle de Cussac et, en outre, des terrains qui limitent les deux branches de cette boucle. Le préfet de la Haute-Loire, à qui la demande était adressée, refusa l'autorisation sous prétexte qu'en se « cons-

tituant artificiellement une propriété de 20 m de largeur et de 20 km de longueur, qui relie deux points éloignés du fleuve, le sieur Pagès s'est placé dans des conditions qui n'ont pas été prévues par l'article 644 du Code civil; que les travaux projetés auraient pour effet de capter les eaux dans une proportion qui serait préjudiciable à l'intérêt général; *qu'au surplus une demande semblable ayant été présentée par un autre riverain, l'Administration ne se croit pas en droit de favoriser l'un des postulants aux dépens de l'autre*; qu'en attendant qu'une loi nouvelle ait réglementé l'utilisation des chutes d'eau par la grande industrie, il n'appartient qu'à un décret rendu dans la forme des règlements d'administration publique de statuer sur la demande... » A la requête de Pagès, le Conseil d'État statuant au Contentieux annula l'arrêté du Préfet en disant : « que si l'Administration a le pouvoir de lui (Pagès) imposer certaines conditions en vue d'assurer la police des eaux, leur libre écoulement et leur bonne distribution, elle ne peut lui contester le droit (de dérivation) qu'il tient de la loi, même sous prétexte que les travaux projetés sortiraient des limites prévues par l'article 644 du Code civil ». Ceci s'est passé du 2 septembre 1899 à fin mai 1900. Quelles réflexions nous inspire cet exemple?

Voilà une demande faite dans toutes les formes prescrites et qui est refusée parce que l'Administration a trouvé « qu'il ressort de l'enquête des oppositions dont il conviendrait de tenir compte ». N'avais-je pas raison de vous dire que l'Administration est elle-même le plus intransigeant des barreurs? Le Préfet tire son refus de l'absence d'une loi spéciale qui lui donnerait le pouvoir de statuer sur cette demande ! La loi est rédigée et on y laisse la porte ouverte au même prétexte de refus !... Pourquoi donc cette ligne introduite dans l'article 3? Elle donne à la loi le danger d'une arme à deux tranchants et sa présence semble indiquer que le Législateur veuille retirer d'une main ce qu'il donne de l'autre quand le demandeur ne sera pas de son goût. A celui qui présentera une demande en autorisation d'établir des ouvrages de dérivation, l'Administration pourra répondre en s'appuyant sur ce texte que l'intérêt de l'entreprise n'est pas suffisamment démontré pour passer outre à des *oppositions dont il convient de tenir compte*. Ces mots introduisent l'arbitraire dans la procédure d'autorisation, et, s'ils sont maintenus, on pourra voir, on verrra certainement, ce fait arriver : Un industriel, pour couper court à une obstruction *systématique*, invoque le bénéfice de la loi nouvelle parce qu'il croit trouver en elle l'immanquable moyen de réduire cette obs-

truction ; les agents de l'Administration qui sont chargés de faire l'enquête ne peuvent pas connaître les mobiles de l'opposition faite au demandeur : elle est présentée sous des formes qui exagèrent son importance et la représentent comme étant faite d'intérêts généraux supérieurs à celui de l'industriel; et alors, l'enquête administrative concluant à *des oppositions dont il convient de tenir compte,* la demande est rejetée. Et ainsi la loi n'aboutirait qu'à faire le jeu d'influences occultes qu'elle veut annuler. Remarquez que les enquêteurs administratifs sont de très bonne foi, — hélas ! même de trop bonne foi — et c'est en voulant remplir consciencieusement leur fonction qu'ils risquent de se tromper. Les agents de l'Administration, malgré leur compétence éprouvée et leurs indiscutables qualités, sont forcément de mauvais juges des intérêts privés. Il ne faut donc point les mettre dans la situation de rendre involontairement et inconsciemment des arrêts de principe dans nos démêlés entre industriels et riverains. Leur rôle doit rester ce qu'il est, pour être inattaquable, c'est-à-dire se borner à voir, et déclarer, si le projet pour lequel une demande est formée respecte l'intérêt de la salubrité publique, la nécessité de prévenir ou de faire cesser des inondations (art. 14 de la loi de 1898), la réglementation générale faite, dans les conditions déterminées par l'article 9 de la même loi... en vue de fixer le régime général du cours d'eau. Quant à l'appréciation des intérêts privés que la demande met en jeu, c'est le Juge civil et lui seul, parce que seul le Tribunal en a tous les moyens, qui doit les départager. La loi, ne l'oublions pas, est précisément faite pour amener devant le Tribunal civil l'industriel et le riverain. Qu'ils y soient amenés en vertu d'une autorisation émanant du Conseil d'État au lieu du Préfet, nous n'y voyons que peu d'inconvénients, c'est une question de solennité et de formalités. Mais au moins qu'ils puissent y arriver et que la loi qui leur donne cette faculté au commencement de l'article 7 ne la rende pas illusoire par cette ligne à supprimer de l'article 3.

Mais il y a plus. Admettons que l'autorisation soit refusée sous prétexte que les conditions nécessaires pour l'obtenir ne sont pas remplies, le demandeur pourra-t-il exercer un recours à l'autorité supérieure pour excès de pouvoir ? En aucune façon, car la loi est muette à ce sujet. La décision du Conseil d'État est sans appel et l'industriel, qui peut être évincé à la suite d'un faux jugement administratif sur les intérêts mis en opposition

par la création d'une usine hydraulique, verra ses projets réduits à néant. N'est-ce point une lacune qu'un article additionnel devrait combler?...

Considérons maintenant ce qui peut se passer dans le cas où plusieurs demandes concurrentes vont se présenter en vue de l'utilisation d'une même section de rivière. L'article 4 dit : « Lorsque plusieurs demandes se trouvent en concurrence pour une même chute, la préférence est donnée à celui des demandeurs qui peut justifier qu'il dispose de la fraction la plus importante des droits appartenant aux riverains. — Lorsque les demandes portant sur des sections différentes d'un même cours d'eau sont partiellement concurrentes, la préférence est donnée à celle qui a pour objet la plus plus grande production d'énergie, à la condition que l'écart en sa faveur, dans les conditions moyennes d'utilisation des ouvrages à établir dans le délai de trois ans, prévu par l'article précédent, soit d'au moins un cinquième. — Lorsque le droit de préférence ne peut être déterminé d'après les règles précédentes, il résulte de la priorité de la demande ».

Ces dispositions, très clairement exposées, montrent bien que, dans ce cas du règlement des demandes concurrentes, la loi veut instituer un choix *automatique*. Il ne pouvait en être autrement. L'exemple de l'arrêt Pagès plus haut cité fait bien ressortir ce qui adviendrait si l'Administration dans son enquête avait à faire peser dans la balance une appréciation quelconque sur l'intérêt respectif des projets en présence. Ce serait l'arbitraire le plus absolu, car je le répète : les agents de l'Administration sont en très mauvaise posture pour dire que tel intérêt privé est supérieur à tel autre. Gardiens de l'intérêt général au seul point de vue de la sécurité publique, ils ne doivent être sollicités à intervenir dans aucun débat où ne sont en jeu que des intérêts privés. Mais encore, pour que cet article 4 produise tout l'effet qu'on est en droit d'attendre de sa claire logique, il importe impérieusement que l'Administration n'ait rien à voir dans l'économie industrielle des projets, *n'ait pas à se prononcer sur la question de savoir si les uns ou les autres présentent un intérêt économique suffisant pour motiver l'intervention de la puissance publique.* Si cette passivité de l'Administration n'existait pas, on serait trop souvent exposé à voir le projet de l'industriel mûrement élaboré en des proportions modestes, mais par cela même réalisable sans délai, déclaré d'un intérêt insuffisant pour motiver l'intervention de la puissance

publique, alors que la conception du *lanceur d'affaires* aux proportions grandioses, mais fondées sur des espérances fallacieuses, serait reconnue d'un intérêt économique nécessitant la protection de cette même puissance.

Or, si cela pouvait se produire, le *lanceur d'affaires* n'aurait qu'un but : acquérir assez de droits de riveraineté pour obtenir d'abord des autorisations, *prétextes à affaires*, et ensuite chercher à tirer parti des chutes d'eau ainsi enlevées aux industriels qui en ont un besoin immédiat. Comme au bout du délai de trois ans que la loi accorde (art. 3) pour mettre à exécution une partie au moins des travaux objet de l'autorisation, ceux-ci ne seraient point commencés, l'autorisation serait périmée ; le permissionnaire resterait avec ses droits de riveraineté sur les bras et il en serait quitte pour prétexter une raison quelconque d'insuccès et faire une nouvelle demande modifiée au gré des circontances. Pendant ce temps, l'industriel sérieux verrait ses efforts paralysés, à moins de se faire rétrocéder l'autorisation du premier qui, dans ce cas, prendrait l'aspect d'un simple barreur. Au contraire, si le lanceur d'affaires sait qu'il ne peut obtenir une autorisation de la puissance publique qu'à la condition expresse d'avoir sur une section déterminée de cours d'eau plus de droits que ses concurrents, *que l'économie de son projet n'entre pour rien dans l'automatisme du fonctionnement de l'autorisation*, il ne risquera point de s'aventurer dans la procédure longue et fatigante instituée par la loi, s'il n'en a un besoin bien certain. Il ne se présentera que lorsqu'il lui faudra une chute d'eau pour lancer une affaire en vue de laquelle il aura groupé des capitalistes. Mais alors son rôle se fera sentir en sens inverse de ce qu'il pourrait être dans le cas précédent : il risquera d'ouvrir un débouché nouveau à l'industrie des forces hydrauliques, ou tout au moins d'en mettre en œuvre une fraction nouvelle, ce qui est toujours un résultat désirable ; et son rôle, au lieu d'être néfaste, deviendra au contraire utile. Voilà ce qu'il faut voir. Il ne faut donc pas que dans la procédure d'autorisation d'une demande, la jurisprudence puisse venir plus tard introduire des considérations sur ce fait que l'intérêt économique d'un projet peut, ou ne peut pas, justifier l'intervention de la puissance publique. Sans quoi tout sera à recommencer d'ici quelque temps. Et pour cela il ne faut pas, j'en reviens toujours là, que la loi contienne des ambiguïtés comme celle de l'article 3 sur laquelle j'ai, avec insistance, appelé toute votre attention.

L'exposé des motifs indique que, dans l'esprit des rédacteurs du projet de loi, la considération de l'intérêt général doit être prépondérante et cet état d'esprit, s'il s'exagère, peut porter certains législateurs à introduire dans la loi soumise au vote des Chambres une aggravation dans le sens que je combats. N'y est-il pas écrit :

« Le projet de loi accorde aux établissements compris dans la nouvelle catégorie d'usines privées qu'il institue, des privilèges importants. Il oblige en quelque sorte les intérêts des riverains à s'effacer devant ces usines et à passer au second plan. Bien que le projet de loi n'ait pas voulu définir, par une règle précise, l'importance des usines qui devront être privilégiées, il est cependant dans son esprit que pour obtenir, suivant les termes de l'article 1er, le *bénéfice* de la législation nouvelle, l'usine qui réclamera ce bénéfice devra présenter un intérêt industriel évidemment supérieur à l'ensemble des intérêts divers déjà desservis par la partie du cours d'eau sur laquelle doit s'installer ladite usine et spécialement l'intérêt agricole représenté par les irrigations existantes. (Combien conjecturale, cette appréciation !...)

» Tous ces droits de coercition sur les riverains, tout cet accaparement de l'eau qui, malgré les précautions prises, peut évidemment préjudicier à des intérêts généraux, tous ces privilèges accordés ne se justifient que par un intérêt industriel assez sérieux pour évoquer lui-même l'arrière-pensée de l'intérêt général. »

Soit, la loi accorde un *bénéfice* à celui qui l'invoque, mais peut-il s'appeler *privilège* et lui confère-t-elle des pouvoirs coercitifs si extraordinaires ?

Pour invoquer cette loi, il faudra de bien graves raisons déjà exposées : complication de la procédure des demandes en autorisation d'une part et d'autre part restriction de la liberté si précieuse à l'industriel dans l'emploi de l'énergie qu'il aménage. Je vais dire dans un instant en quoi consiste cette restriction. On n'usera donc de l'instrument de coercition que le plus rarement possible et dans la moins large mesure possible, parce qu'on ne s'y résoudra jamais qu'à la dernière extrémité, lorsqu'il n'y aura plus moyen de résoudre l'opposition irréductible du dernier riverain. Or, à en juger par ce que je vous ai expliqué de la facilité avec laquelle on pourrait, à l'heure actuelle, aménager 2 ou 300 000 ch sans l'ombre d'un conflit avec les droits riverains,

vous pouvez vous convaincre que la loi nouvelle fera bien rarement plier par la force le « respect de la propriété » devant « l'intérêt de l'industrie ». Et notez, Messieurs, que ces chutes, toutes prêtes à organiser et n'attendant pour cela que des débouchés, sont celles où les collusions étaient le plus à craindre parce que situées dans les régions les plus accessibles, où les intérêts agricoles représentent une valeur qui n'est point négligeable. A plus forte raison sur les sections de cours d'eau torrentiels coulant au fond de gorges où la propriété a beaucoup moins de prix, les négociations seront-elles plus faciles. Là, le droit de riveraineté n'aura de valeur que par l'énergie cinétique de l'eau et il s'en établira un cours comme pour toutes autres marchandises. On achètera aux riverains de la force motrice et l'on ne sera plus en butte aux marchandages suscités par les mille prétextes que le paysan tire de l'aliénation d'un revenu de son champ, de la suppression des irrigations, etc.

L'importance des pouvoirs coercitifs donnés par la loi à un industriel me semble donc avoir été bien grossie dans l'exposé des motifs et *l'intérêt général* est un grand mot dont il importe de concrétiser la signification. L'*intérêt général*, c'est la prospérité de la région, où on l'invoque. Si, comme cela se produit la plupart du temps, la grande usine hydraulique se crée dans une région où seule la culture de maigres champs fait à peine vivre ses habitants, sur un torrent où de vieux moulins et de pauvres scieries finissent leur carrière, cette usine apporte avec elle la prospérité; le fait de sa création procure l'intérêt général en enrichissant la région. Le riverain qui s'oppose à cet enrichissement général, si la loi le fait passer au second plan, est-il tant à plaindre, et l'industriel créateur de richesse doit-il être considéré comme investi d'un *privilège* insigne? Le pays, c'est-à-dire l'intérêt général, ne doit-il pas plus à ce dernier que celui-ci à la puissance publique? Supposez encore, ce qui arrivera plus fréquemment, que notre industriel se trouve en présence d'un usinier employant à son usage personnel une chute de peu d'importance placée à un endroit tel qu'elle rende impossible la création d'une force très puissante par l'utilisation rationnelle de toute une grande zone du cours d'eau. Ne croyez-vous pas qu'on verra le plus souvent l'usinier se laisser convaincre de l'avantage qu'il trouvera à remplacer l'énergie de sa propre chute par celle que lui enverra la grande installation sous forme de courant élec-



trique ou même d'eau sous pression ? Aujourd'hui que les progrès de l'électromécanique ont pénétré jusque dans le petit atelier, le fait que je signale est de plus en plus fréquent et c'est grâce à lui que de grandes installations hydro-électriques ont pu s'établir sans difficulté. Eh ! bien, Messieurs, si cet usinier ne se laisse convaincre des avantages de cette transformation de l'énergie motrice de son moulin, de son tissage ou de sa forge, que par la puissance de la loi, croyez-vous que là encore l'industriel qui l'aura mise en action n'aura pas bien mérité de *l'intérêt général* ?

Les considérations de l'exposé des motifs s'inspirent évidemment de la plus pure justice, et par conséquent méritent qu'on les respecte. Mais il ne faut rien exagérer ! Nous sommes parfaitement d'avis qu'il ne faut pas que la loi permette au roi de l'industrie de déposséder le meunier de Sans-Souci ; qu'elle ne laisse créer la grande usine qu'à la condition qu'elle compense même largement chaque riverain touché par elle, et que celui-ci y trouve non point détriment mais bénéfice au besoin ; que si, malgré les précautions prises, il se trouve quand même des intérêts privés atteints après coup, elle leur fasse accorder un juste dédommagement. Seulement que ses promoteurs reconnaissent que le créateur de la grande usine, source de richesse toujours, satisfait à *l'intérêt général* tout en agissant dans son propre intérêt. Il ne faut pas regarder uniquement d'un côté, de celui où se trouve l'intérêt de l'installateur de chute, mais aussi du côté où est la prospérité qu'il apporte dans le pays. Alors on voit qu'il mérite encouragement plutôt que suspicion dans ses œuvres dont le but n'est point, comme a l'air de le dire l'exposé des motifs, « un accaparement de l'eau » à son seul profit.

Pourtant la loi veut faire payer à l'industriel le prétendu *privilège* de cette situation. Voici ce que l'article 6 formule à ce sujet : « L'acte d'autorisation des ouvrages hydrauliques... peut contenir des réserves imposant la restitution d'eau en nature, sur des points déterminés de la section, en vue d'entreprises ayant pour objet, soit l'alimentation d'agglomérations non riveraines, soit des irrigations collectives ». A cela rien à reprendre, les intérets de l'Industrie et de l'Agriculture doivent toujours marcher de pair et il faut les concilier quand ils se rencontrent. D'autre part, les distributions d'eau potable sont désirables partout où une occasion peut favoriser leur entreprise. Sous ce rap-

port, la loi a raison et elle ne surprend pas par cette exigence dont les formes sont d'ailleurs bien délimitées. Mais on n'en saurait dire autant de ce qui suit :

« Pendant les dix premières années à compter de la mise en exploitation de l'usine, ajoute le même article, toute administration publique peut, en vertu d'un décret rendu en Conseil d'État et motivé, réquisitionner pour les services publics qu'elle gère une quote-part d'énergie qui n'excède pas le quart en eaux basses... »

Ceci, Messieurs, vous prouve une fois de plus qu'en notre époque même les moindres services se paient. La puissance publique, en admettant même qu'elle accorde un *privilège* à l'industriel en lui facilitant la création de son usine, devrait être assez désintéressée pour n'en point exiger le paiement. Elle reste dans son rôle en employant les voies et moyens de procurer l'intérêt général par l'établissement d'entreprises qui sans cela ne verraient point le jour. Elle se fait payer en y mettant des formes, nous le reconnaissons : cette réquisition n'est pas prévue spécialement dans l'acte d'autorisation ; elle ne pourra y être rappelée que par une formule de style ; elle ne pourra être opérée qu'en vertu d'un décret rendu en Conseil d'État et motivé ; ni s'exercer au delà d'une période de dix ans. Elle « n'est exécutoire, dit encore cet article 6, que moyennant remboursement préalable d'une quote-part correspondante dans les frais d'établissement de l'usine, ou moyennant paiement d'un droit de location correspondant si la réquisition est temporaire. En cas de litige, la somme à rembourser ou le droit de location est fixé par le Tribunal civil, à dire d'experts ». C'est entendu, ces formes sont une atténuation à l'inconvénient de faire payer un petit service qui devrait être rendu avec le désintéressement qui convient à la puissance publique. Mais pourquoi ce paiement? Point n'est difficile de deviner qu'il s'inspire de la crainte d'un accaparement de nos forces hydrauliques par l'industrie privée.

Les rédacteurs du projet de loi semblent très sérieusement avoir redouté qu'un jour les services publics seraient pris à dépourvu d'énergie hydro-électrique si l'on n'en crée pas des réserves auxquelles ils pourront puiser le moment venu ; que l'industrie privée est capable de former des trusts de houille blanche, si l'on peut ainsi parler, qui feront — permettez-moi le mot — chanter l'Administration quand elle viendra leur deman-

der une fourniture d'électricité. Ai-je encore besoin, après ce que j'ai dit touchant *la meilleure utilisation* de nos forces hydrauliques, de combattre ici cette crainte irraisonnée? Partout où il y a un client d'énergie hydro-électrique il se présente plusieurs fournisseurs; de plus en plus il en va là de même que dans toute industrie, et il en sera naturellement ainsi jusqu'à complet épuisement de nos millions de chevaux hydrauliques qui peuvent suffire à tous les besoins présents et prévus de notre industrie nationale. Dès qu'une administration fait appel aux chutes d'eau pour une fourniture d'énergie à l'un de ses services, elle reçoit les offres de plusieurs installations; c'est un client très formaliste, comme vous le savez, et difficile à satisfaire, mais c'est en général un client à long bail et qui paie sûrement; on le recherche même, il n'est jamais le dernier servi. Plus se développera l'industrie hydro-électrique, plus le choix des fournisseurs augmentera, et déjà quand on veut avoir l'énergie au meilleur marché possible dans une région de houille blanche il n'y a qu'à mettre ces fournisseurs en concurrence. Je puis vous en citer un bel exemple: celui de la Ville de Lyon, où, à part les Compagnies de Jonage et du Gaz, deux ou trois grandes entreprises (actuellement en projet) de transport d'énergie hydro-électrique depuis les sommets les plus élevés des Alpes, se disputent la clientèle de force motrice et de traction.

La clause de réquisition d'énergie en faveur des services publics est donc parfaitement inutile. Il peut se faire qu'elle ne soit pas toujours une grande gêne pour les industriels, étant données les formes dans lesquelles elle sera exercée, mais encore à la condition expresse qu'elle ne soit mise à effet que durant les toutes premières années d'exploitation, *alors que le plein débouché n'est pas atteint.* Alors elle est acceptable. Mais déjà avant dix ans de marche elle peut forcer l'industrie qu'elle va frapper, quand elle aura fait tous ses efforts pour n'avoir plus de production sans emploi — et aucune usine ne s'installera sans cette prévision à courte échéance — à modifier assez profondément son économie afin de pouvoir faire face à cette obligation de servir un client qui la surchargera. Songez que ce *client forcé* pourra prendre à lui seul le quart des chevaux permanents, ce qui est un quantum énorme dans une distribution d'énergie, créer des *pointes* dans les diagrammes de charges qui pourront causer des perturbations non prévues dans un service organisé pour répondre à des four-

nitures très divisées, enfin engendrer combien d'autres désagréments que les chefs d'usine connaissent bien, qui troublent le rendement d'une exploitation *et sont tels qu'on refuserait, malgré la rémunération la plus avantageuse, la demande de ce client s'il ne s'imposait point.* Donc clause inutile, gêne acceptable si elle est imposée au début de l'exploitation, mais intolérable après le plein débouché, c'est-à-dire avant même la dixième année. Que le Législateur y prenne garde. A la voir maintenue après réflexion, l'on pensera à une autre raison : l'idée préconçue qu'a l'Administration de s'immiscer dans nos affaires.

Une telle ingérence administrative paraît d'autant plus superflue que dans la législation projetée il existe cette deuxième catégorie d'usines dites « d'utilité publique autonomes, » ayant spécialement pour but l'alimentation des services publics et dont voici le régime avec les conséquences qu'il comporte.

## § 3. — Alimentation des Services publics.

La deuxième catégorie que crée la loi comprend les « usines d'utilité publique *autonomes* ». « Elles seront créées, explique l'exposé des motifs, dans les conditions ordinaires des ouvrages d'utilité publique; elles seront donc l'objet d'une concession et pourront se procurer, soit par voie d'expropriation, soit par voie de servitudes, les droits qui leur seront nécessaires;

« Elles devront avoir pour objet principal l'alimentation d'un ou de plusieurs services publics; mais elles resteront distinctes de ces services et joueront à leur égard le rôle de fournisseurs d'énergie; elles auront, du reste, l'entière liberté d'exploitation de leurs résidus. Elles seront donc à la fois *mixtes* et *autonomes.* »

Au moyen de ces usines l'Administration sera assurée de toujours avoir la puissance voulue en temps et lieu convenables et au prix qu'il ne dépend que d'elle de rendre le plus bas possible, (Nous allons voir que l'industrie privée n'a qu'à y gagner.) Il lui sera toujours loisible, étant armée du pouvoir d'expropriation, de placer ses usines dans la situation des usines privées les plus avantagées, cela ne dépend aussi que de sa diligence. Qu'a-t-elle, dès lors, à redouter d'une coalition — d'ailleurs impossible, parce que devant grouper trop d'intérêts rivaux pour aboutir à une cohésion — d'une coalition, dis-je, des possesseurs de forces hydrauliques? Absolument rien si ce n'est cet inconvénient peut-être qui résultera du fait suivant, si l'on admet la pos-

sibilité des coalitions : Avant que ne soit formé le réseau général d'accouplement des usines hydro-électriques (complété par des stations centrales à vapeur), il se formera certainement déjà des réseaux partiels, très vastes, et qui pourront se faire concurrence. Or, Messieurs, vous savez que la concurrence pratiquée sur une vaste échelle, dans le but d'abattre une organisation rivale et permettre à l'organisation victorieuse de se l'associer ensuite plus avantageusement, peut amener sur les produits des baisses de prix telles, que le prix de vente tombe au-dessous du prix de revient. Les services publics alimentés par des usines d'utilité publique qui ne pourront pas participer au mouvement de baisse ne profiteront donc pas de cette production d'énergie à bon marché. Mais ne nous arrêtons pas à cette supposition, qui peut cependant se réaliser, car pareilles luttes se sont déjà vues, notamment dans le Nouveau-Monde, et qui ont duré.

Votre attention, Messieurs, s'est portée sur le fait nouveau que le texte proposé introduit dans les principaux généraux du droit en matière d'expropriation. L'usine établie par ce procédé devait jusqu'ici faire partie administrativement, c'est-à-dire être comprise dans l'acte déclaratif d'utilité publique, du service qu'elle devait alimenter; et il lui était interdit d'affecter le surplus du produit de l'expropriation, ses résidus d'énergie par conséquent, à un autre objet que celui en vue duquel était faite l'expropriation. Cette usine ne pouvait donc pas livrer à l'industrie privée la partie de son énergie que le service public n'absorbait pas. Si l'on n'avait pas levé cette interdiction, il lui devenait à peu près impossible de s'établir sur les cours d'eau non navigables ni flottables où sont les moyennes et hautes chutes. Elle ne pouvait en effet livrer au service public que des chevaux permanents. Mais, en installant seulement cette partie de la puissance d'une chute, l'énergie, nous l'avons vu, lui serait revenu très cher ; il lui fallait pouvoir aménager des chevaux périodiques et pour cela il fallait lui donner l'autorisation de les vendre à l'industrie privée qui peut en tirer parti; leur revenu, si faible qu'il soit, viendra en déduction sur le prix de l'énergie livrée au service public. Vous comprenez à présent pourquoi l'industrie privée a tout avantage à voir l'Administration créer des usines produisant le cheval périodique à bas prix. Ne craignez rien, leur concurrence n'est pas dangereuse !

L'Administration doit ainsi s'estimer bien partagée et même

particulièrement favorisée par les dispositions que nous venons d'indiquer. Elle possède d'abord sur les cours d'eau de son domaine plus de forces hydrauliques qu'il ne lui en faut pour l'alimentation en énergie des services publics dont elle a et pourra avoir la gérance. Ensuite, quand il lui paraîtra plus avantageux de capter une autre chute, elle aura la liberté de le faire aux meilleures conditions possibles. Enfin, si elle réussit à faire maintenir dans la loi les clauses de réquisition d'énergie qui y sont inscrites en sa faveur, elle pourra même dans beaucoup de cas se dispenser d'établir des usines. C'est donc le maximum de ce qui pouvait lui être accordé.

J'ai dit que la concurrence possible faite aux usines privées par les usines *autonomes* vendant leurs chevaux périodiques n'est pas à redouter et voici pourquoi : l'Administration — bien que, dit-on, l'Europe nous l'envie — aurait-elle donc un génie créateur et des moyens de construction différents de ceux de l'industrie privée ? Elle fait bien ce qu'elle fait certes et ses travaux d'art sont des modèles, mais elle y met le temps et le prix ! Par conséquent, elle n'arrivera vraisemblablement pas la première aux bonnes places et elle n'aménagera pas ses chevaux à meilleur compte que l'industrie privée. Elle pourra exproprier, m'objecterez-vous ? Oui, mais l'indemnité d'expropriation est égale, sinon supérieure à celle ordonnée par le Juge civil à dire d'experts, ou au prix du marché débattu de gré à gré. Sous le rapport du prix de revient de l'énergie, l'usine d'utilité publique se mettra donc, par la seule faute de l'Administration, plutôt en état d'infériorité vis-à-vis de l'usine privée. Il faut en outre bien réfléchir que cette usine *autonome* sera gérée par un concessionnaire. Quand celui-ci aura fourni, au prix décrété par l'Administration, la quantité d'énergie voulue au service public, il vendra naturellement le plus cher possible l'excédent au client privé qu'il pourra trouver. Pourquoi voudrait-on que ce concessionnaire, qui ne gagnera sans doute rien — s'il n'y perd pas — sur le service public, ne cherchât pas à se rattraper sur le client privé? Vous voyez bien que sa concurrence ne peut pas être dangereuse.

***

Je borne là, Messieurs, les considérations que je me proposais de vous soumettre sur cette question vitale qu'est pour l'avenir de la houille blanche le projet de loi déposé l'an dernier sur le

bureau de la Chambre des députés. Je crois vous avoir montré que le régime législatif que la loi instituera va faciliter les solutions du problème de la meilleure utilisation de nos chutes d'eau, par des moyens mieux appropriés que ne l'aurait été l'application du principe de la concession des forces hydrauliques par l'État. Peut-être me suis-je laissé conduire de déductions en déductions par une tendance trop facile à escompter des espérances sur lesquelles j'ai basé toute mon argumentation, au lieu d'appuyer simplement ma thèse sur les faits et les besoins du moment. Mais des progrès, dans le domaine de la science et de l'industrie, nous talonnent, qui vont révolutionner l'économie de nos richesses naturelles, et j'entends par là nos chutes et nos mines. Or, il ne faut pas que la loi qu'on veut faire aujourd'hui ne prévoie pas le progrès de demain. Et loin de moi la pensée d'avoir en tout cela seulement donné un coup de pioche dans le filon de la houille blanche ; je voudrais simplement croire que j'ai pu faire réfléchir le mineur sur le chantier — et surtout le Législateur de qui la réalisation des projets d'avenir du premier dépend.

---

## CONCLUSIONS

Le projet de loi respecte les droits établis sur les cours d'eau, droits qui sont conformes à la philosophie scientifique établissant ce théorème fondamental : l'énergie dynamique en puissance dans l'eau courante qui baigne une rive appartient au propriétaire de cette rive comme la quantité de rayonnement solaire qui fait mûrir une moisson est au propriétaire du champ ;

La loi nouvelle s'inspire des principes de l'économie politique qui ont servi de base au partage de nos richesses hydrauliques, par l'attribution à l'État du lit des cours d'eau navigables et flottables où sont les chutes qui conviennent à l'alimentation des services publics, et par l'abandon à leurs riverains du lit des cours d'eau non navigables ni flottables où sont les forces hydrauliques dont l'utilisation ne peut se faire pour la plus grande partie que par l'industrie privée ; elle reconnaît que cette base reste juste et nécessaire ; elle affirme le droit des riverains sur les cours d'eau de la deuxième catégorie et reconnaît la prépondérance de leurs intérêts et de leur action ;

Enfin cette loi n'abolit rien du régime qui a permis à l'industrie des forces hydrauliques de naître et prospérer; elle apporte des facilités nouvelles, nécessaires et suffisantes : *nécessaires* parce qu'elles permettent à l'industrie privée de triompher de l'obstruction systématique qui pourrait s'opposer à la solution du problème de la meilleure utilisation de nos richesses naturelles; *suffisantes*, parce que les catégories d'usines qu'elle crée résolvent toutes les difficultés économiques qu'on peut prévoir dans l'alimentation en énergie des services publics et des usines actuelles et futures de l'industrie privée.

Mais la loi ne mettra pas suffisamment à l'abri de l'ingérence administrative les industriels qui l'invoqueront et, comme cette ingérence peut avoir des conséquences aggravant au contraire le mal qu'on veut éviter, il importe de remanier certains points du texte pour en faire disparaître les clauses contraires à son esprit général.

E.-F. Côte.

---

# L'INDUSTRIE DU CIMENT
## AUX ÉTATS-UNIS

PAR

M. George-P. ROUX.

L'extraordinaire et rapide développement de l'industrie du ciment aux États-Unis, les progrès de cette industrie et les améliorations apportées aux procédés de fabrication, généralement peu connus en Europe, nous paraissent un sujet intéressant à traiter. L'histoire de cette industrie en Amérique est certainement des plus instructives.

La fabrication du ciment, quoique récemment entreprise aux États-Unis, a pris un essor considérable et, sous l'influence de l'esprit pratique des Américains, a été mise au point, perfectionnée dans tous ses détails, de façon à assurer, non seulement une grande production, mais aussi un prix de revient réduit à son minimum, par l'emploi de procédés mécaniques continus et automatiques.

La fabrication du ciment Portland artificiel a été très lente à prendre racine, surtout au début, et cela pour des raisons qui semblent extraordinaires dans un pays comme les États-Unis : la routine, ou esprit conservateur. C'est pourtant pour ces raisons inattendues, que l'industrie du ciment Portland artificiel se développa très lentement, avec une certaine défiance et appréhension, et les entreprises des pionniers furent maintes fois condamnées d'avance ; c'est dire le peu d'encouragement que rencontra cette industrie à sa naissance, et cependant elle est aujourd'hui la plus importante du monde entier comme capital mis en œuvre et moyens de production.

Le ciment Portland artificiel, qui commença à être importé d'Europe en petite quantité, fut vite apprécié et reconnu comme étant d'une qualité supérieure au ciment naturel. Son emploi se généralisa rapidement et peu à peu il fut prescrit pour certains travaux. Son prix était, vers cette époque, de 5 dollars le baril. Étant donnée la vogue de ce ciment et les mystères qui entou-

raient sa fabrication, on considéra longtemps sa fabrication comme impossible aux États-Unis.

En 1872, David O. Saylor, qui depuis 1865 fabriquait du ciment naturel à Coplay (Pensylvanie), à la suite de longues expériences et recherches, et aidé par John W. Eckert, arriva à fabriquer avec succès un ciment Portland artificiel pouvant être comparé et lutter, comme prix et qualité avec les meilleurs ciments Portland alors importés. En même temps et vers la même époque, une petite usine était montée à Kalamazoo (Michigan), et commença à produire du ciment Portland par la voie humide, mais, par suite de la nature même des matières et du prix élevé de la main-d'œuvre et du combustible, la fabrication dut être suspendue. En 1875, une usine fut construite par M. Shinn à Wampun, près de Pittsburg, Pa.; cette usine fonctionne encore, voie sèche, calcaire et argile. En 1877, un Anglais, Thomas Millen, établit une petite usine à South Bend, Indiana, employant pour la fabrication du ciment un mélange de craie et d'argile bleuâtre. En 1899, la « Cobb Lime Company » entreprit la fabrication du ciment Portland à Rockland (Maine) avec un calcaire pur, mais abandonna la fabrication par suite du prix de revient trop élevé. Pareil sort fut réservé à la « National Cement Company » sur l'Hudson. On voit donc que des six premières usines qui entreprirent la fabrication du ciment Portland artificiel, trois seulement purent résister aux vicissitudes du début.

Cette nouvelle industrie ne semblait donc pas promettre beaucoup et ces déboires, ajoutés aux importations toujours croissantes, n'étaient pas faits pour encourager ces entreprises. Telle était la situation de l'industrie du ciment Portland artificiel aux États-Unis vers 1881. A partir de cette époque, on constata une certaine réaction contre les préjugés qui existaient contre les ciments portland de fabrication américaine, et, grâce aux efforts et à la persévérance des pionniers de cette industrie, ce ciment de fabrication américaine prit peu à peu, quoique très lentement, la position qu'il occupe aujourd'hui sur le marché.

La production de ciment portland qui était, aux États-Unis, en 1882, d'environ 82 000 barils, soit 14 000 t, atteint actuellement (1903), 16 875 506 barils, soit 3 037 591 t (*fig.* 1). Le prix du ciment portland a été réduit considérablement (prix de vente environ 0,70 dollar par baril), grâce aux procédés modernes et perfectionnés de fabrication.

Tableau comparatif de la Production, Importation, Etc. de Ciment Portland aux Etats Unis

Exportation

Importation

Fabrication Américaine

Consommation

0 — 500 000 — 1 000 000 — 2 000 000 — 3 000 000

| Années | Ciment Américain Tonnes | Ciment Importés Tonnes | Ciment Consommation totale de l'année | Ciment Exportation Tonnes |
|---|---|---|---|---|
| 1902 | 3.001 516 | 356 062 | 3.357 283 | 62 716 |
| 1901 | 2.288 020 | 160 080 | 2.351 516 | 26 112 |
| 1900 | 1.526.262 | 440 602 | 1 981 126 | 25 180 |
| 1899 | 1.012 402 | 370.600 | [illegible] | 10 660 |
| 1898 | 665.611 | 362 487 | 1 027.098 | |
| 1897 | 461.009 | 320 366 | 816 365 | |
| 1896 | 272 748 | .555 127 | 810 671 | |
| 1895 | 176 268 | 530 631 | 707 709 | |
| 1894 | 142 167 | 474.059 | 617 010 | |
| 1893 | 104 317 | 461 340 | 567 663 | |
| 1892 | 96.630 | 430 317 | 537 466 | |
| 1891 | 81 866 | .567 896 | 649 762 | |
| 1890 | 60.800 | 540 465 | 609 655 | |
| 1889 | 46 000 | 318 388 | 358 299 | |
| 1888 | 45.000 | 360 880 | 676 300 | |
| 1887 | 45.000 | 272 687 | 317 637 | |
| 1886 | 27.000 | 164.765 | 191 765 | |
| 1885 | 32.000 | 88 701 | 120 701 | |
| 1884 | 14.000 | 106.436 | 120 436 | |
| 1883 | 10 200 | 82.166 | 98.416 | |
| 1882 | 14.800 | 64.078 | 79 878 | |

Fig. 1.

## Fabrication du ciment Portland artificiel.

La fabrication du ciment portland artificiel, comme nous l'avons dit, se développa très lentement; il faut aussi ajouter, aux raisons citées plus haut, les difficultés et complications résultant de l'emploi des anciens procédés alors et encore en usage en Europe. Ces procédés étaient incompatibles avec les idées américaines; il y avait mieux, il fallait chercher autre chose et entreprendre des études et expériences, essais, etc., qui demandèrent un temps considérable et une grande somme d'énergie et de persévérance.

De 1872 à 1889, cette industrie progressa très lentement et le procédé de fabrication alors en usage était, sauf quelques variantes insignifiantes, celui adopté en Europe; mélange des matières premières en proportion convenable, qui étaient humectées et transformées, soit en briques, soit en boules au moyen de presses, puis cuites dans des fours verticaux et moulues comme pour le ciment naturel au moyen de meules.

Diverses tentatives furent faites pour simplifier la cuisson: mélange de ciment avec les pâtes pour en faire des briques plus résistantes; du goudron et charbon fin fut aussi mélangé aux pâtes de façon à n'avoir à charger les fours qu'avec les briques sans ajouter de combustible, lequel étant disséminé dans la masse devait donner lieu à une cuisson plus intime et à une légère économie de combustible. Tous ces procédés laissaient à désirer et furent plus ou moins employés.

Vers 1889-1890, on tenta de reprendre l'idée de Frederick Ransome sur les fours rotatifs. Ces essais furent entrepris à l'usine de l'Atlas Cement Company, à Coplay, Pensylvanie, par Navarro, assisté d'un Ingénieur français, M. Pierre Giron, qui contribua beaucoup au développement de l'idée de Ransome.

Les résultats de ces essais, quoique alors un peu vagues et contradictoires, ne tardèrent pas à attirer l'attention des Ingénieurs américains, qui virent dans ce nouveau procédé de cuisson du ciment des avantages multiples qui devaient révolutionner la fabrication du ciment portland artificiel et servir de point de départ au développement qu'elle a atteint aujourd'hui.

## Le four rotatif.

L'invention du four rotatif remonte à 1877, date de la prise d'un brevet, en Angleterre, par Thomas Russell Crampton, qui ne mit jamais son invention en pratique.

Le 2 mai 1885, Frédérick Ransome prit un brevet en Angleterre pour un four rotatif, et il est intéressant de citer ici les revendications de ce brevet : « Pour éviter d'avoir à moudre le ciment après cuisson, les matières préalablement séchées, pulvérisées et tamisées pour avoir un degré de finesse convenable et correspondant au ciment fini, sont introduites dans la chambre rotative ». Non seulement il ignorait que les matières, par suite des combinaisons chimiques qui se produisent sous l'influence de la température élevée à laquelle elles sont soumises tendent à s'agglomérer, mais aussi il commit une erreur en introduisant les matières premières du côté de la chambre de combustion. Il employait un gazogène pour le chauffage du four. En dépit des mérites de cette invention et après de nombreux essais infructueux, ce procédé ne donnant pas de résultats satisfaisants, fut à peu près abandonné.

En 1890, l'idée de Ransome fut reprise par M. Navarro, alors fortement intéressé dans la « Atlas Cement Company » à Coplay, Pa., qui perfectionna sensiblement le four rotatif de Ransome. M. Navarro dépensa une fortune dans ces essais et rencontra un précieux collaborateur en la personne d'un de nos compatriotes, M. Pierre Giron, alors directeur technique de l'usine « Atlas », et c'est à lui que l'on doit, en grande partie, la mise au point et en pratique de l'idée de Ransome. Il signala la possibilité de récupérer les chaleurs perdues, provenant tant des clinkers que de la combustion.

Dans ces essais qui furent faits avec des fours très courts, 30 à 40 pieds, on commença à employer le pétrole brut avec jet de vapeur ou air.

Un grand nombre d'autres dispositions furent imaginées et même brevetées en Amérique ; calcination préalable des matières avant cuisson, calcination et cuisson combinées, etc.

Spencer B. Newberry construisit et expérimenta à Warner, New-York, un four pour la cuisson des pâtes, composé d'un cylindre séchoir utilisant les gaz chauds du four pour le séchage des pâtes, précédant le four lui-même. Mais pour des raisons

financières autant que pour des causes techniques, ces essais furent abandonnés. En 1893, il reprit ces expériences dans une petite usine à Bay Bridge, près de Sandusky, Ohio; d'abord, par le même procédé de cuisson précédée du séchage, avec des cylindres de 40 pieds de longueur, puis, finalement, il réunit les deux cylindres en un seul de 80 pieds de longueur, qui est le four rotatif actuel, quoique réduit à 60 pieds. Des expériences nombreuses ayant prouvé que cette longueur était la plus convenable et qu'au delà de cette dimension on n'obtenait aucun avantage appréciable.

Dans tous les essais qui précèdent, le pétrole brut était employé comme combustible et les matières premières étaient humectées avant d'être introduites dans le four.

En 1895, M. B. B. Lathbury, alors Ingénieur-chimiste et actionnaire de la « Alpha Portland Cement Company », à Phillipsburg, New-Jersey, par suite du prix toujours croissant du pétrole brut, songea à employer le charbon pulvérisé comme combustible et se livra à des essais pendant six mois; il démontra la possibilité d'employer le charbon pulvérisé injecté dans le four par une tuyère et un jet d'air. Les résultats de ces expériences, qui furent faites avec un dispositif des plus rudimentaires, prouvèrent que non seulement il y avait économie de combustible, mais que la qualité du ciment était améliorée en raison de la plus haute température atteinte, ce qui conduisit à modifier les dosages en augmentant la chaux dans une plus grande proportion. La capacité de production était aussi sensiblement augmentée.

La « Alpha Portland Cement Company » détermina l'installation immédiate de ce nouveau mode de cuisson et son exemple fut rapidement suivi par les autres usines. Aujourd'hui, toutes les usines à ciment Portland emploient le charbon pulvérisé comme combustible, sauf une, en Californie, qui se sert encore de pétrole qu'elle trouve à meilleur compte que le charbon dans cette région.

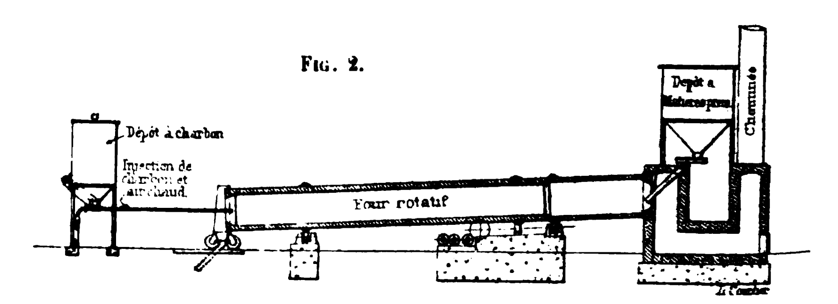
Mais lorsque l'on ne traitait pas les matières premières par la voie humide, on humectait les farines crues avant de les cuire ; en 1898, MM. Lathbury et Spackmann furent les premiers à cuire des matières premières composées de calcaire et argile, sous forme sèche, sans mouillage préalable et réussirent dans leurs expériences, en dépit des avis contraires et des pronostics d'insuccès émis par les autorités les plus compétentes en la matière. Ces essais, qui furent conduits à l'usine de la « Alma Portland Cement

Company », à Welston, Ohio, eurent un succès complet et de nombreuses usines furent installées pour traiter des matières premières de la même nature ; celles qui précédemment mouillaient les poudres crues avant la cuisson, abandonnèrent ce procédé. C'est aussi à cette usine que fut appliquée pour la première fois la transmission électrique à tous les appareils et machines de l'installation.

## Description du four rotatif.

Après des essais innombrables faits par Newberry, Navarro, Lathbury et Spackman, Matcham, etc., il a été reconnu que les dimensions du four rotatif les plus appropriées, tant au point de vue de la cuisson parfaite, utilisation de la chaleur de combustion, marche des matières, économie dans la fabrication, capacité de production, etc., correspondaient à : diamètre, 6 pieds, 1,82 m, et longueur, 60 pieds, 18,28 m. Ces dimensions sont celles adoptées dans presque toutes les installations nouvelles, bien que quelques personnes recommandent des fours ayant 5 pieds de diamètre sur environ la moitié de leur longueur et 6 pieds sur l'autre moitié. Cette disposition n'offre aucun

Fig. 2.




avantage réel et au contraire complique la construction et l'installatation du four.

La figure 2 représente le type courant du four rotatif américain; il se compose essentiellement d'un cylindre en tôle généralement de 12 mm d'épaisseur, légèrement incliné sur l'horizontale et tournant sur des bandages en acier qui reposent sur des galets. Le mouvement de rotation est communiqué au cylindre par un train d'engrenages et une couronne dentée fixée sur la partie extérieure du four au moyen de pattes spéciales permettant toute dilatation.

Les matières premières sont amenées, soit sous forme de poudre crue par une vis sans fin, soit par une pompe lorsqu'il s'agit de pâte, à un tube d'alimentation qui est formé d'une double enveloppe cylindrique à circulation d'eau. Les matières sont chauffées dans la première partie du four et l'acide carbonique est mis en liberté; puis elles entrent dans la zone de cuisson, où les combinaisons chimiques ont lieu, les matières premières s'agglomérant en petites balles variant en grosseur, suivant leur nature et la température à laquelle elles sont soumises, depuis celle d'un œuf à celle d'un grain de blé : on leur a donné le nom de « clinker ». A sa sortie du four, le clinker tombe dans une trémie et passe soit dans un cylindre refroidisseur rotatif, ou bien est élevé et déchargé dans des refroidisseurs verticaux à chicanes où un courant d'air froid est refoulé par un ventilateur. Dans les deux cas, l'air chaud provenant du refroidissement des clinkers est aspiré et injecté avec le charbon pulvérisé, produisant ainsi une notable économie de combustible, du fait de la récupération de la chaleur.

Lorsque l'on traite les matières premières par la voie sèche, le four est garni sur toute sa longueur de briques réfractaires spéciales, et lorsque ces matières sont traitées par la voie humide, sur les deux tiers seulement de la longueur.

Après des essais de matières réfractaires de toutes sortes pour la garniture intérieure des fours : magnésie, ciment et terre réfractaire, etc., on s'est arrêté aux briques réfractaires suivant l'analyse ci-dessous, qui ont donné d'excellents résultats :

| | |
|---|---|
| Silice, $SiO^2$ . . . . . . . . . . | 45,00 à 50,00 0/0 |
| Alumine, $Al^2O^3$. . . . . . . . . | 43,00 à 48,00 |
| Fer, $Fe^2O^3$. . . . . . . . . . . | 0,50 à 3,00 |
| Chaux, CaO . . . . . . . . . . | 0,10 à 0,50 |
| Magnésie, MgO . . . . . . . . | traces à 0,35 |

Un des principaux inconvénients, rencontré au début et qui constituait la base de la critique du four rotatif, était les « collages » ou formation d'anneaux à l'intérieur du four. Les matières premières sous l'influence de la haute température, se collaient à la chemise et ne tardaient pas à rétrécir la section du four, souvent à un tel point qu'une obstruction complète se produisait, rendant impos sible la combustion, ce qui obligeait à arrêter le four et à ringarder. La chape de clinker, en se décollant, entraînait une partie

de la garniture en briques réfractaires, qui était aussi fortement endommagée par le ringard.

On se rendit compte bien vite que cet inconvénient venait des matières composant les briques réfractaires, trop acides, et qui jouaient le rôle de fondant auprès des clinkers, qui sont généralement, par suite de la composition des matières premières, très inclinés à coller ensemble, étant donnée la présence plus ou moins grande d'oxyde de fer qu'elles renferment.

Non seulement cet inconvénient a complètement disparu en pratique, par l'emploi de briques réfractaires ayant une composition chimique convenable, mais la durée des garnitures en brique réfractaire a été de beaucoup accrue par un artifice qui consiste à former un dépôt de clinker, sorte de blindage sur toute la partie de la garniture correspondant à la zone de cuisson; cette chape de clinker porte la durée d'une garniture jusqu'à deux ans avec la forme particulière que l'on sait lui donner et un bon cuiseur, non seulement rend la cuisson plus facile, mais diminue la consommation de combustible. Ce sont là, évidemment, des tours de mains qui ne peuvent s'apprendre que par la pratique.

L'inclinaison du four varie suivant la nature des matières premières à cuire, ainsi que sa vitesse de rotation qui est comprise

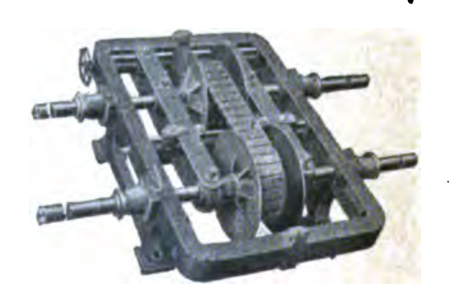


Fig. 3.

entre vingt et soixante tours à l'heure. Cette vitesse est facilement réglable à l'aide d'un régulateur de vitesse (*fig.* 3).

La température de cuisson du ciment a été évaluée expérimentalement et est comprise entre 1 600 et 1 800° C. D'après les observations faites par le professeur Carpenter, avec un pyromètre optique, la température atteinte par la garniture réfractaire à l'intérieur du four rotatif, dans la zone de cuisson, est de 1 626 à 1 760° C.

Les gaz chauds à leur sortie du four ont une température de :

| | |
|---|---|
| Par la voie sèche. . . . . . . | 530 à 630° C. |
| Par la voie humide. . . . . . | 150 à 200° C. |

Comme on le voit, ces températures sont relativement élevées et sont susceptibles d'être avantageusement employées, soit pour produire de la vapeur, soit pour sécher les matières premières. Des essais isolés ont été tentés ici dans cette voie et ont donné des résultats satisfaisants, mais les Américains n'attachent pas grande importance à ces économies qui, pour être obtenues, compliquent l'installation dans une certaine proportion. Seul le prix du charbon augmentant pourrait les conduire à adopter des dispositions tendant à économiser le combustible. Il est certain que le four rotatif s'introduisant en Europe amènera les industriels à tirer tout le parti possible de cette chaleur actuellement perdue.

Les charbons employés pour la cuisson du ciment dans les fours rotatifs sont généralement des charbons bitumineux d'après l'analyse suivante :

| | |
|---|---|
| Carbone fixe . . . . . . . . . . | de 45 à 60 0/0. |
| Matières volatiles . . . . . . . | de 33 à 50 0/0. |
| Cendres . . . . . . . . . . . . | 10 0/0 maximum. |
| Soufre . . . . . . . . . . . . | le moins possible. |

Des essais sérieux permettent d'assurer que des charbons pauvres et anthracites contenant jusqu'à 15 0/0 seulement de matières volatiles pouvaient être employés avec succès, quoique dans ce cas la consommation soit naturellement supérieure à celle résultant de l'emploi de charbons gras et riches en matières volatiles ; mais en résumé cette question dépend du prix d'achat comparé des diverses qualités de charbons procurables.

La consommation de charbon varie énormément suivant la nature des matières premières à cuire et celle des charbons employés. D'après des essais comparatifs faits à l'usine de la « Saylor's Portland Cement C° », qui est la plus ancienne fabriquant du ciment Portland, on a trouvé que la consommation de combustible dans un four du système Schöfer, y compris séchage des briques, était environ égale à celle d'un four rotatif cuisant les mêmes matières par la voie sèche.

En règle générale, on constate une consommation de combustible de :

Four rotatif cuisant des poudres, 20 à 25 0/0 du poids du ciment produit;

Four rotatif cuisant des pâtes, 28 à 35 0/0 du poids du ciment produit.

Quelques usines obtiennent avec des cuiseurs expérimentés et des matières premières faciles à cuire 3 à 5 0/0 de réduction sur les chiffres ci-dessus.

Quelle que soit la qualité du charbon employé, il faut qu'il soit séché et finement pulvérisé, de façon à ne laisser un résidu que de 5 à 6 0/0 sur le tamis n° 100, soit 10 000 mailles par pouce carré.

Les ateliers de mouture et séchage du charbon se composent, en règle générale, d'un concasseur formé de deux cylindres à fines cannelures, tournant en sens inverse et à des vitesses différentes, qui réduit le charbon à une grosseur correspondant à l'anneau de 1 cm de diamètre. De là le charbon passe dans un cylindre-séchoir à foyer extérieur, puis va dans un tube broyeur finisseur où il est finement pulvérisé et de là est transporté dans des dépôts d'une capacité de 2 à 4 t, placés à proximité des fours. Cette installation peut être considérée comme type et comme celle donnant les meilleurs résultats; elle suffit à l'alimentation de huit fours rotatifs. Des essais de différents systèmes de broyeurs, concasseurs, meules, etc., n'ont jamais donné de résultats satisfaisants.

Les dangers d'incendie ou combustion spontanée des fines poussières de charbon ne sont pas à redouter, car on a soin de tenir les appareils aussi étanches que possible et de ne jamais avoir une grande quantité de charbon pulvérisé d'avance à cause de l'humidité qu'il absorbe rapidement.

Le charbon pulvérisé est amené à la tuyère du four au moyen d'une vis sans fin à pas spécial, dont la vitesse est contrôlée par un régulateur. La quantité d'air chaud injectée peut aussi être réglée par des vannes. Cet air est fourni par un ventilateur aspirant ordinaire à circulation d'eau dans les paliers. L'emploi de l'air comprimé a été abandonné depuis longtemps.

Étant donné l'excellent chemin de roulement formé par les bandages en acier et galets articulés qui supportent le four, la force motrice nécessaire à son fonctionnement est excessivement faible — 3 ch —, et un homme peut le faire tourner à la main en agissant sur la poulie de commande du train d'engrenages.

La production des fours rotatifs varie aussi suivant la compo-

sition chimique des matières premières que l'on traite et suivant la naturé et état de finesse du charbon employé, et aussi suivant l'expérience du cuiseur. Elle est comprise entre :

Voie sèche, débit par four et par 24 heures, 35 à 40 t;
Voie humide, — — — 20 à 30 t.

Le four rotatif est donc un appareil de grande production et par sa marche continue, la cuisson, qui a lieu sous l'œil du cuiseur, pour ainsi dire, molécule par molécule, permet un contrôle absolu tant de la cuisson comme de la marche de toute l'usine. Grâce à ce puissant engin, il est possible de cuire le ciment à la température convenable sans rien laisser au hasard des fours fixes et, partant, obtenir un produit hydraulique dont tous les constituants sont parfaitement combinés.

Bien que le four rotatif ne soit pas d'invention américaine, il doit sa mise en pratique et ses perfectionnements aux Américains et il s'harmonise bien avec leur caractère : positif, rapide, puissant et économique.

La possibilité d'une cuisson parfaite, idéale; l'obtention d'un ciment d'une qualité supérieurement incontestable en employant des matières premières convenables ; l'économie de main-d'œuvre et même de combustible dans certains cas ; le grand débit du four rotatif, ont fait que son emploi se soit rapidement généralisé aux États-Unis, et aujourd'hui toutes les usines à ciment Portland artificiel américaines emploient exclusivement ce mode de cuisson.

Contrairement à ce que beaucoup de personnes supposaient au début, la cuisson des matières premières a lieu progressivement, degré par degré, et non pas d'une façon rapide, instantanée.

Les expériences faites par M. W. B. Newberry, à l'usine de la « Dexter Portland Cement Co », à Nazareth, Pa., sur un four rotatif de 60 pieds de long et 6 pieds de diamètre, traitant les matières par la voie sèche et résumé sur le tableau ci-dessous, montrent clairement les phénomènes de la cuisson (*fig* 4).

Les échantillons furent pris, après arrêt, sur toute la longueur du four à 4 pieds de distante (1,20 m).

Dans la pratique, ces courbes doivent être légèrement rectifiées, car les analyses ont été faites sur des matières après refroidissement; cependant on voit bien clairement par ces résultats que les matières, à leur entrée dans le four, abandonnent

d'abord l'humidité qu'elles contiennent, puis une grande partie des matières volatiles. L'acide carbonique est ensuite expulsé graduellement et la chaux réagit peu à peu sur la silice, alumine et fer ainsi que sur la magnésie ; ces sels devenant fusibles à mesure que la température s'élève, ils se combinent peu à peu et presque simultanément avec la chaux pour former des

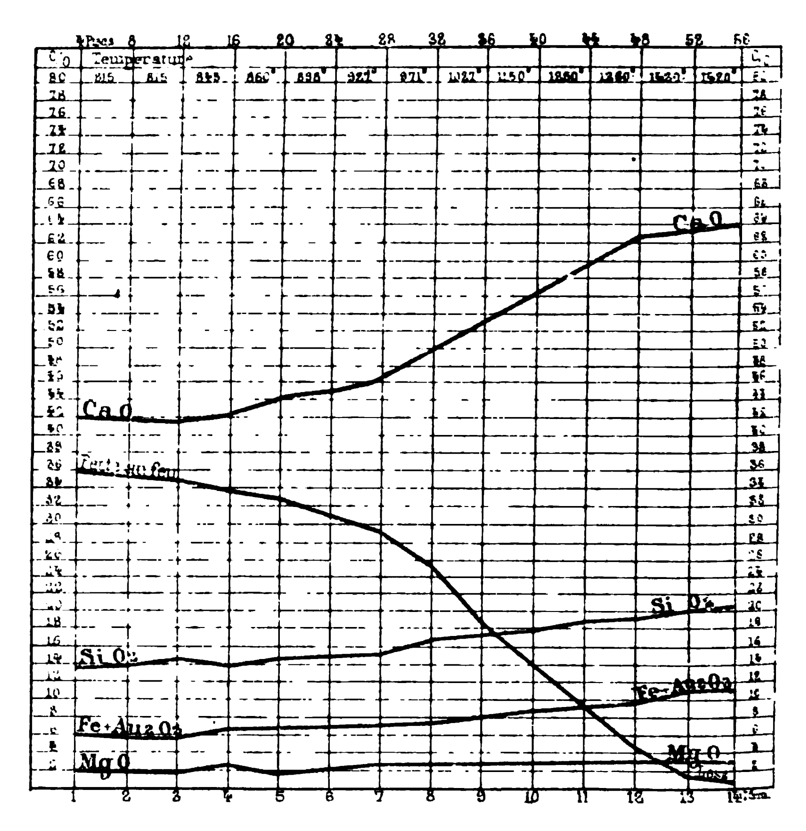



Fig. 4.

silicates et aluminates tri-calciques. Les matières organiques, quoique expulsées en grande partie, ne le sont pas aussi complètement qu'on pourrait le supposer, car on voit qu'à leur sortie les clinkers contiennent encore 0,86 0/0 de matières volatiles.

D'autres expériences faites sur des fours rotatifs traitant les matières par la voie humide ont démontré, d'après des échantillons prélevés chaque 5 pieds (1,50 m), que sur les 10 premiers pieds de leur parcours, les matières abandonnent toute leur

humidité et que les réactions chimiques commencent à se faire à 35 pieds environ de l'entrée et les combinaisons définitives à 45 pieds. D'un autre côté, ces mêmes expériences faites sur des fours plus longs que 60 pieds, ont indiqué que les gaz se chargeaient des vapeurs provenant de l'évaporation de l'eau des pâtes, se saturant d'humidité, qui avait une tendance à se condenser à nouveau avant la sortie des gaz.

Les matières premières, suivant leur composition chimique, mettent de une heure à deux heures pour parcourir toute la longueur du four et se transformer en roches de ciment cuit.

Les charbons contenant beaucoup de cendres, conduisent à modifier les dosages en proportion, par suite de leur teneur en silice, fer et alumine ou chaux en plus ou moins grande quantité. Un combustible, avec 3 à 6 0/0 de cendre, ne semble pas avoir d'influence appréciable sur le produit final.

Les clinkers, à leur sortie du four, sont refroidis par un courant d'air froid qui, après s'être échauffé à leur contact, est injecté avec le charbon pulvérisé dans le four. La température de cet air atteint 350 à 400 degrés centigrades.

La pratique américaine tient compte, lors de l'installation d'une usine, des facilités de transports et approvisionnements de matières premières, charbon, etc., et les usines sont généralement très bien situées à cet effet. Une très grande importance est aussi accordée aux dispositions et appareils mécaniques pour réduire à son minimum la main-d'œuvre qui est très chère et aussi en prévision de grèves fréquentes.

Les usines sont montées en vue de grandes productions, traitant de grandes quantités de matières sans perte de temps, évitant toute main-d'œuvre ou manipulation inutile, facilitant le plus possible la rapidité des opérations et de manière à obtenir le meilleur rendement de toute l'installation avec un minimum de frais de réparations et entretien.

La plupart sont installées de façon à pouvoir doubler la capacité de l'usine si nécessaire et nombre d'entre elles ont été conduites à mettre à profit ces prévisions, doublant leur capacité.

Aujourd'hui on considère les installations d'usines à raison de 10 fours rotatifs, comme étant celles offrant le meilleur rendement financier à tous les points de vue et on ne conseille pas de dépasser ce chiffre correspondant à une production d'environ 2 000 barils, soit 350 t par jour, par crainte d'arrêts possibles, survenant à la suite d'accidents, réparations, inondations,

incendies, grèves, etc., qui, en plus d'immobiliser un capital énorme, arrêteraient la production, mettant ainsi la Compagnie dans l'impossibilité de remplir ses contrats. On préfère, à juste titre, construire 2 usines de 8 à 10 fours chacune, à quelque distance l'une de l'autre. C'est la règle suivie par un certain nombre des principales Compagnies fabriquant du ciment Portland.

## Cahier des charges.

Il n'existe pas aux États-Unis, comme en France, de cahier de charges officiel avec contrôle à l'usine. On peut dire que chaque Ingénieur, chaque administration publique ou privée a son cahier des charges. Cependant, sauf quelques exceptions, on prend comme base les spécifications un peu anciennes de la « American Society of Civil Engineers ». Il existe aussi d'autres spécifications, plus modernes, comme celles du corps du Génie américain, U. S. Army, Corps of Engineers Professional paper N. 28, celles du Génie maritime, U. S. Navy Department, chemins de fer, etc.

Ces spécifications sont très complètes et décrivent les essais physiques et analyses chimiques auxquels les échantillons doivent être soumis; elles sont trop longues pour en donner ici une traduction complète, nous nous contenterons d'en donner un extrait. Ces documents peuvent d'ailleurs être obtenus facilement par les intéressés.

### Spécifications de la American Society of Civil Engineers.

Finesse: 92 0/0 du ciment doit passer au tamis N. 100 (10 000 mailles par pouce carré, en fils N. 40 de la jauge Stubb) ce qui correspond à environ 1 500 mailles par centimètre carré.

On emploie aussi les tamis N. 50, soit 2 500 mailles au pouce carré et les tamis N. 74 et 200 correspondant à 5 476 et 40 000 mailles par pouce carré.

Poids spécifique :

| | |
|---|---|
| Ciment Portland, de . . . . . . . | 3,10 à 3,25 |
| — naturel, de. . . . . . . . . | 2,50 à 2,80 |
| — de laitier, de. . . . . . . | 2,70 à 2,80 |

Quantité d'eau de gâchage :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ciment Portland pur . . . . . . . | | | 25 0/0 |
| — | — | et 3 de sable. | 11 à 15 0/0 |
| — | naturel pur . . . . . . . | | 30 0/0 |
| — | — | et 3 de sable. | 12 à 13 0/0 |

*Résistance à la traction.*

Ciment Portland :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ciment pur, | après | 24 heures. | 7 à 10 | kg par cm² |
| — | — | 7 jours. . | 17 à 38 | — |
| — | — | 28 jours. . | 24 à 49 | — |
| — | — | 1 an. . . | 31 à 56 | — |
| Ciment pur et 3 de sable | après | 7 jours. . | 5,6 à 3,75 | — |
| | — | 28 jours. . | 7 à 14 | — |
| | — | 1 an. . . | 14 à 24 | — |

Ciment naturel :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ciment pur, | après | 24 heures. | 2,8 à 5,6 | kg par cm² |
| — | — | 7 jours. . | 4,2 à 7 | — |
| — | — | 28 jours. . | 7,2 à 10 | — |
| — | — | 1 an. . . | 21 à 28 | — |
| Ciment pur et 3 de sable | après | 7 jours. . | 2,2 à 3,5 | — |
| | — | 28 jours. . | 3,5 à 4,2 | — |
| | — | 1 an. . . | 15 à 21 | — |

On s'en tient généralement aux essais à 7 et 28 jours.

Temps de prise : Suivant la nature des travaux.

Stabilité de volume : Essais à l'eau froide et à l'eau bouillante.

Spécifications du « U. S. Army. Corps of Engineers ».

Finesse :

| | | |
|---|---|---|
| Ciment Portland. | 92 0/0 | doit passer au tamis n° 100. |
| — naturel . | 80 0/0 | — — |

Poids spécifique :

Ciment Portland, de. . . . . . . . . 3,10 à 3,25

Eau de gâchage :

| | | |
|---|---|---|
| Ciment Portland pur. . . . . . . . . . | | 20 0/0 |
| — | avec 3 de sable. . . | 12,5 0/0 |
| Ciment naturel pur. . . . . . . . . . | | 30 0/0 |
| — | avec 3 de sable. . . | 17 0/0 |

*Résistance à la traction.*

Ciment Portland :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ciment pur | 1 jour à l'air | 6 jours à l'eau. | | 31,635 | kg par cm² |
| | 1 — | 27 | — | 37,962 | — |
| Ciment pur et 3 de sable | 1 — | 6 | — | 9,842 | — |
| | 1 — | 27 | — | 13,466 | — |

Ciment naturel :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ciment pur | 1 jour à l'air | 6 jours à l'eau. | | 5,627 | kg par cm² |
| | 1 — | 27 | — | 14,060 | — |
| Ciment pur et 3 de sable | 1 — | 6 | — | 4,218 | — |
| | 1 — | 27 | — | 10,545 | — |

Temps de prise :

Ciment Portland. Début pas avant 45 minutes; fin, pas après 10 heures.

Ciment rapide. Début de 20 à 30 minutes; fin, de 45 minutes à 2 heures et demie.

Ciment naturel. Début pas avant 20 minutes; fin, pas après 4 heures.

Stabilité de volume : Parfaite, tant aux essais à l'eau froide, qu'aux essais à l'eau bouillante.

*Analyses de quelques marques de Ciments Portland américains :*

| MARQUES | CaO | $SiO^2$ | $Fe^2O^3$ | $Al^2O^3$ | MgO | $SO^3$ | PERTES | RÉSIDU INSOLUBLE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Alma | 63,34 | 21,96 | 4,76 | 6,18 | 1,14 | 1,89 | 0,45 | 0,38 |
| Alpha | 63,08 | 21,01 | 2,82 | 7,52 | 3,09 | 1,01 | 0,36 | 0,28 |
| Alsen | 61,77 | 20,86 | 3,23 | 6,92 | 1.43 | 2.25 | 1,22 | 0,47 |
| Atlas | 59,95 | 21,59 | 2,60 | 6,87 | 3,77 | 1,39 | 1,86 | 0,44 |
| Bronson | 63,17 | 20,95 | 3,12 | 9,74 | 0,75 | 0,86 | — | — |
| Coplay | 61,80 | 22,70 | 2,05 | 6,15 | 1,37 | 2,00 | — | — |
| Dragon | 62,00 | 22,60 | 1,03 | 6,75 | 1,80 | 2,13 | — | — |
| Detroit | 62,96 | 21,43 | 3,02 | 6,22 | 3,88 | 1,25 | — | — |
| Edison | 62,71 | 20,14 | 3,33 | 7,51 | 2,34 | 1,64 | — | — |
| Empire | 60,92 | 22,04 | 3,41 | 6,45 | 1,20 | 0,52 | 0,62 | 0,30 |
| Giant | 61,12 | 22,08 | 4,81 | 8,52 | 1,71 | 0,44 | 0,80 | 0,42 |
| Iron Clad | 62,83 | 21,51 | 2,93 | 7,09 | 2,16 | 1,56 | 0,84 | 0,41 |
| Lehigh | 61,26 | 23,18 | 2,60 | 6,05 | 3,10 | 1,40 | 0,76 | 0,47 |
| Medusa | 62,38 | 23,08 | 6,16 | 2,90 | 1,21 | 1,66 | — | — |
| Nazareth | 57,74 | 20,83 | 2,34 | 6,70 | 3,49 | 1,07 | 3,82 | 0,99 |
| Saylor's | 60,58 | 23,36 | 1,90 | 4,86 | 4,96 | 2,00 | 0,52 | 0,54 |
| Victor | 58,84 | 14,09 | 2,16 | 4,52 | 1,73 | 0,98 | 15,68 | 1,07 |
| Vulcanite | 63,68 | 21,08 | 2,48 | 7,86 | 2,62 | 1,25 | — | — |
| Whitehall | 62,15 | 21,60 | 2,17 | 6,80 | 3,05 | 2,16 | — | — |

*Résistances à la traction de quelques marques de Ciments Portland américains :*

| MARQUES | FINESSE — TAMIS N° 100 | PRISE | | POIDS SPÉCIFIQUE | RÉSISTANCE A LA TRACTION en kilogrammes par centimètre carré | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | CIMENT PUR | | 1 DE CIMENT ET 3 DE SABLE | |
| | | DÉBUT | FIN | | 7 jours | 28 jours | 7 jours | 28 jours |
| | °/₀ | minutes | h. m. | | | | | |
| Alma | 97,4 | 45 | 2 30 | 3,15 | 48,860 | 56.430 | 13,300 | 18,620 |
| Alpha | 91,0 | 55 | 3 15 | 3,14 | 45,300 | 52,300 | 13,750 | 18,900 |
| Atlas | 92,0 | 58 | 6 54 | 3,11 | 50,100 | 60,900 | 13,000 | 18,000 |
| Ajax | 92,0 | 70 | 5 30 | 3,10 | 26,600 | 33,040 | 7,700 | 12,400 |
| Alsen | 92,0 | 50 | 3 35 | 3,10 | 36,330 | 47,670 | 15,750 | 20,020 |
| Bronson | 92,0 | 99 | 5 45 | 3,17 | 31,920 | 42,350 | 16,520 | 18,970 |
| Coplay | 98,0 | 35 | 4 » | 3,11 | 45,200 | 52,100 | 13.200 | 25,030 |
| Catskill | 96,0 | 23 | 1 » | 3,12 | 33,250 | 44,600 | 9,870 | 17,220 |
| Dragon | 96.5 | 83 | 2 57 | 3,13 | 36,000 | 47,250 | 17,410 | 24,220 |
| Detroit | 93,0 | 90 | 5 35 | 3,14 | 52,290 | 62,440 | 19,810 | 25,840 |
| Edison | 99,8 | 120 | 6 30 | 3,16 | 47,600 | — | 17,960 | 23,300 |
| Empire | 93,0 | 38 | 2 » | 3,11 | 46,900 | 52,500 | 11,200 | 17,760 |
| Giant | 93,0 | 90 | 6 » | 3,12 | 31,780 | 40,600 | 14,140 | 17,160 |
| Iron clad | 92,0 | 110 | 6 25 | 3,10 | 37,660 | 45,440 | 19,140 | 23,130 |
| Iroquois | 92,5 | 105 | 6 30 | 3,12 | 34,710 | 42,340 | 13,560 | 18,200 |
| Lehigh | 94,0 | 103 | 3 10 | 3,14 | 42,700 | 55,460 | 14,980 | 22,610 |
| Medusa | 93,0 | 55 | 2 15 | 3,13 | 41,330 | 52,170 | 14,990 | 24,310 |
| Nazareth | 98,0 | 38 | 1 40 | 3,12 | 42,150 | 50,310 | 13,900 | 22,500 |
| Vulcanite | 92,5 | 60 | 0 » | 3,12 | 42,910 | 72,800 | 15,190 | 24,190 |
| Wabash | 96,0 | 120 | 7 » | 3,12 | 43,210 | 60,100 | 14,140 | 20,320 |
| Whitehall | 92,0 | 48 | 2 18 | 3,13 | 43,340 | 62,300 | 14,800 | 20,700 |

*Production de Ciment Portland en 1902 :*

| ÉTATS | NOMBRE D'USINES en activité | PRODUCTION en BARILS | VALEUR en DOLLARS |
|---|---|---|---|
| Alabama | 1 | — | — |
| Arkansas | 1 | — | — |
| California | 2 | 294.156 | 431.910 |
| Colorado | 2 | 82.044 | 105.016 |
| Georgia | 1 | — | — |
| Illinois | 4 | 767.781 | 977.541 |
| Indiana | 3 | 536.706 | 628.244 |
| Kansas | 1 | 830.050 | 1.017.824 |
| Michigan | 10 | 1.577.006 | 2.134.396 |
| Missouri | 1 | — | — |
| New Jersey | 2 | 2.152.158 | 2.563.355 |
| New York | 10 | 1.156.807 | 1.521.553 |
| Ohio | 7 | 563.113 | 685.571 |
| Pennsylvania | 15 | 8.770.454 | 10.130.432 |
| South Dakota | 1 | — | — |
| Texas | 2 | 165.500 | 234.950 |
| Utah | 1 | — | — |
| Virginia | 1 | 334.869 | 433.286 |
| TOTAL | 63 | 17.230.644 | 20.864.078 |

## Statistique.

Depuis 1882, le « United States Geological Survey », Washington, D. C., publie dans le *Mineral Resources of the United States*, une statistique officielle de la production, consommation, importation et exportation des différentes classes de ciments.

D'après ces intéressants documents, il ressort que les matières premières employées dans la fabrication du ciment Portland américain peuvent être ramenées à une des six compositions suivantes :

1° En Pensylvanie, New-Jersey et Virginia, on emploie un mélange formé de roches de calcaire argileux ou roche de ciment naturel, faiblement magnésien, auquel on ajoute une certaine quantité de calcaire pur. L'analyse ci-dessous donne

une idée de la composition chimique de ces matières premières :

| | $SiO^2$ | $Al^2O^3$ et $Fe^2O^3$ | CaO | MgO |
|---|---|---|---|---|
| | — | — | — | — |
| Calcaire argileux. | 10 à 16 | 2 à 6 | 73 à 80 | 3 à 5 0/0 |
| Pierre calcaire. . | 1 à 3 | 0,70 à 2 | 92 à 96 | 2 à 3 0/0 |

Dans la région du Lehigh et New-Jersey, il existe actuellement vingt usines ayant une capacité de production annuelle totale de 12 à 15 millions de barils. Les matières premières sont traitées par la voie sèche.

2° Dans l'État de Michigan et le Middle West, les matières premières sont presque exclusivement composées de marnes et argiles qui, vu leur nature, sont traitées par la voie humide :

| | $SiO^2$ | $Al^2O^3$ | $Fe^2O^3$ | CaO | MgO | $SO^3$ | Mat. volatiles. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | — | — | — | — | — | — | — |
| Marnes. | 0,20 à 9 | 0,4 à 4 | 0,5 à 2 | 40 à 55 | 0,4 à 2,40 | 0,5 à 3 | 3 à 46 0/0 |
| Argiles. | 55 à 68 | 14 à 30 | 1,5 à 8 | 0,5 à 3 | 0,5 à 4 | 0,5 à 2 | 6 à 20 0/0 |

Les usines, dans ces régions, sont au nombre de vingt environ, dont quinze en activité avec une capacité totale de production de 6 à 8 millions de barils par an.

3° Dans le sud et dans l'ouest des États-Unis, les matières sont en majorité constituées par des argiles de différentes natures et de la craie. Ces matières sont traitées par la voie sèche et sont très faciles à moudre.

4° Dans l'État de New-York, on traite les matières par la voie sèche, elles sont principalement des calcaires durs et des argiles bleuâtres :

| | $SiO^2$ | $Al^2O^3$ et $Fe^2O^3$ | CaO | MgO |
|---|---|---|---|---|
| | — | — | — | — |
| Calcaire dur. | 0,20 à 2 | 0,10 à 2 | 90 à 98 | 0,5 à 2 0/0 |
| Argile . . . | 40 à 65 | 20 à 30 | 8 à 20 | 1 à 3 0/0 |

On compte dans cette région dix usines et deux en construction. Capacité totale, environ 3 à 4 millions de barils par an.

5° La chaux caustique, sous-produit de la fabrication des alcalis, est employée dans une usine de l'État de Michigan pour la fabrication du ciment Portland.

Enfin les laitiers de hauts fourneaux sont employés aussi dans la fabrication de ciment Portland. Ces laitiers sont mélangés avec de la chaux et soumis à une cuisson dans des fours rotatifs.

*Tableau comparatif de la production du Ciment Portland avec les différentes matières premières.*

| MATIÈRES PREMIÈRES | 1898 | 0/0 | 1899 | 0/0 | 1900 | 0/0 | 1901 | 0/0 | 1902 | 0/0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | t | | t | | t | | t | | t | |
| Composition n° 1. | 462814 | 74,9 | 721823 | 70,9 | 1065533 | 70,3 | 1530630 | 66,8 | 1908000 | 67,9 |
| Composition n° 2 et alcalis . . | 98170 | 75,2 | 197268 | 19,4 | 260063 | 17,1 | 360216 | 15,8 | 396000 | 14,1 |
| Composition n° 3. | 7020 | 1,1 | 15876 | 1,6 | 34192 | 2,2 | 89235 | 3.9 | 126000 | 4,5 |
| Composition n° 4 et laitiers . . | 56809 | 8,8 | 82440 | 8,1 | 157448 | 10,4 | 307939 | 13,5 | 378000 | 13,5 |

Ces chiffres tendent à démontrer que l'industrie du ciment aux États-Unis cherchera dans l'avenir à se développer plutôt dans les régions où l'on rencontre des calcaires durs ou tendres comme la craie, c'est-à-dire dans les régions de l'Ohio et ouest, plutôt que dans l'est ou dans le nord. Dans ces régions, les matières premières sont de jour en jour plus difficiles à obtenir, comme dans la région du Lehigh, ou trop coûteuses à mettre en œuvre par suite de l'eau qu'elles contiennent, comme dans la région du Michigan.

Bien que la crise industrielle, plus apparente que réelle, qui se fait actuellement sentir aux États-Unis, ralentisse l'élan des promoteurs de nouvelles entreprises, il n'y a aucun doute que cette industrie continuera à se développer, soit par la création de nouvelles usines, soit par l'augmentation de celles existantes.

*État comparatif du prix de revient.*

| | Coût par baril et par région | | |
|---|---|---|---|
| | Lehigh | Michigan | Ohio |
| | $ | $ | $ |
| Cuisson et combustion . . . | 0,13 | 0,26 | 0,04 |
| Force motrice. . . . . . . | 0,07 | 0,12 | 0,03 |
| Extraction des matières. . . . | 0,08 | 0,18 | 0,06 |
| Réparations, entretien . . . | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Main-d'œuvre . . . . . . . | 0,15 | 0,16 | 0,16 |
| Fournitures diverses. . . . | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Direction . . . . . . . . . | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Mise en barils. . . . . . . | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Prix de revient, à l'usine, d'un baril de ciment, sans le baril . | 0,57 | 0,87 | 0,43 |

| | Lehigh | Michigan | Ohio |
|---|---|---|---|
| | — | — | — |
| Prix de revient, à l'usine, d'un baril de ciment, sans le baril, en francs : la tonne, s' emballage. | 17,85 | 26,85 | 13,25 |

On remarquera que le prix de revient est de beaucoup plus élevé dans la région du Michigan que dans les autres contrées : cela tient à la quantité plus considérable de combustible qui est nécessaire pour la cuisson du ciment par la voie humide. La région de l'Ohio jouit de conditions avantageuses pour la fabrication économique du ciment Portland, car en plus de matières premières d'excellentes qualités, on trouve en abondance et à proximité de l'usine, souvent sur les lieux mêmes, le charbon nécessaire à la marche de l'usine. De plus, la proximité des grands fleuves rend les transports très faciles et très bon marché.

Malgré ces moyens de production formidables, la fabrication locale ne suffit pas encore aux besoins de la consommation qui augmente de jour en jour, plus rapidement que le développement de cette industrie, comme on peut en juger par l'examen du diagramme ci-dessus. Les importations de ciment Portland se font principalement d'Allemagne.

Le cadre de cette communication ne nous permet pas de nous étendre plus en détail sur ce sujet qui a un certain intérêt et montre les progrès réalisés par une industrie, récente encore, mais qui a atteint un degré de perfection digne d'être mentionné, et le succès de son développement ne saurait être attribué à autre chose qu'aux perfectionnements et à l'emploi du four rotatif.

# LE PROGRÈS

DE

# L'INDUSTRIE DU CIMENT PORTLAND

PAR

M. E. CANDLOT

---

Le ciment Portland a été inventé par un briquetier des environs de Londres, J. Apsdin, vers 1830. Contrairement à ce que l'on pense généralement, on n'a jamais fabriqué de ciment à Portland et ce nom lui a été donné par Apsdin parce qu'il permettait d'obtenir des mortiers ayant la couleur et la résistance de la pierre de Portland.

Les premières usines importantes n'ont guère fonctionné en Angleterre que vers 1850. En France, le ciment Portland fit son apparition à Boulogne-sur-Mer en 1845; en Allemagne, c'est vers la même époque que fut installée la première usine. Aux États-Unis on ne commença à fabriquer du ciment Portland qu'en 1872.

Le ciment Portland est obtenu par la mouture d'un mélange de carbonate de chaux et d'argile physiquement et chimiquement homogène et cuit jusqu'au commencement de vitrification.

Partout où l'on trouve du carbonate de chaux et de l'argile ou des pierres argilo-calcaires on peut donc fabriquer du ciment Portland.

Les travaux de M. H. Le Chatelier, en France, de Michaëlis, Newberry, Rebuffat, etc., à l'étranger, ont permis de reconnaître quelles étaient les combinaisons produites pendant la cuisson, puis, plus tard, au moment de l'emploi, pendant la prise et le durcissement. Sous l'action de la chaleur, à la température de 1 450 degrés environ, la silice se combine à la chaux pour former un silicate tricalcique, $SiO^2, 3CaO$. L'alumine se combine à la chaux également et forme un aluminate tricalcique $Al^2O^3, 3CaO$. Le fer, avec une petite partie de l'alumine et de la chaux, constitue le fondant au milieu duquel se produisent les cristallisations du silicate et de l'aluminate.

Quand le ciment en poudre est mis au contact de l'eau, l'alu-

minate de chaux s'hydrate — $Al^2O^3$, 3Cao + Aq = $Al^2O^3$, 3CaO. $H^2O$. C'est ce sel qui détermine la prise plus ou moins rapide du ciment; puis le silicate est à son tour attaqué par l'eau; il se dédouble en silicate monocalcique et en hydrate de chaux $SiO^2$. 3CaO + Aq = $SiO^2$, CaO, $H^2O$ + CaO, $H^2O$. C'est l'élément le plus important du durcissement et c'est à ce sel que les ciments doivent leurs principales propriétés.

La fabrication du ciment comprend trois opérations essentielles : la préparation des matières, la cuisson, la mouture.

Le traitement des matières premières consiste à réaliser un mélange très intime de composition absolument constante. C'est une des opérations les plus importantes de la fabrication, car c'est d'elle que dépend en grande partie la qualité du ciment. Les proportions relatives de chaux, de silice et d'alumine sont comprises dans des limites assez étroites et on ne peut guère tolérer plus de 1 0/0 d'écart dans les dosages. Si la chaux est en excès, il reste dans le ciment, après cuisson, de la chaux qui n'a pu entrer en combinaison avec la silice et l'alumine et qui reste à l'état libre. Au moment de l'emploi du ciment, cette chaux s'hydratera et produira des gonflements plus ou moins importants. Si, au contraire, on introduit dans la composition trop d'argile, il se produit à la cuisson du silicate dicalcique qui a la propriété de se réduire en poudre spontanément au refroidissement. Cette production de poussière a plusieurs inconvénients; comme elle commence déjà dans le four même, elle gêne considérablement le tirage; puis les propriétés de cette poussière sont loin d'être les mêmes que celles du ciment restant en morceaux.

Le dosage généralement adopté est de 20 0/0 d'argile pour 80 0/0 de carbonate de chaux. Ces proportions ne sont pas tout à fait celles qui seraient théoriquement nécessaires; on se tient toujours un peu en dessous de la limite supérieure en chaux, de manière à éviter la présence de chaux libre. On peut s'approcher d'autant plus du dosage théorique que les procédés de trituration et les mélanges sont plus parfaits.

Le dosage peut d'ailleurs varier dans des limites assez étendues suivant que les proportions de silice et d'alumine contenues dans l'argile sont plus ou moins grandes; si l'on a beaucoup de silice et peu d'alumine, on pourra adopter un dosage en chaux bien plus élevé que si l'alumine se trouve, au contraire, en quantité assez grande.

La composition chimique régulière du mélange n'est pas seule

nécessaire; il faut en outre que les matières soient réduites en poudre très fine, de manière que les réactions puissent se faire pendant la cuisson aussi complètement que possible.

La préparation des matières se fait par la voie sèche ou par voie humide. Dans le premier cas, on dessèche tout d'abord les matières premières, si cela est nécessaire, puis on les broie finement et on agglomère finalement la poudre obtenue sous forme de briques.

La voie humide n'est employée qu'avec les matières tendres comme la craie; les matières sont alors délayées à grande eau et réduites en bouillie claire très fine; cette pâte est débarrassée de son eau par décantation et évaporation à l'air ou dans des séchoirs.

Dans la méthode par voie sèche on utilise des broyeurs dont nous parlerons plus tard à propos de la mouture du ciment. Les matières sont généralement concassées, puis broyées finement dans des broyeurs à boulets ou autres. Mais il faut tout d'abord les dessécher complètement, car elles se trouvent rarement dans un état de siccité suffisant pour pouvoir être passées au broyeur.

Le calcaire et l'argile sont très souvent broyés ensemble; le dosage se fait par pesées à la sortie du séchoir. Ou bien on broie séparément le calcaire et l'argile et on mélange ensuite les poudres à l'aide d'un appareil appelé doseur Jochum. Cet appareil permet de régler très exactement le débit des deux poudres qui tombent dans des vis où le mélange s'opère et devient très intime.

Une fois les matières séchées et broyées, on agglomère la poudre sous forme de briques; celles-ci peuvent être comprimées à sec, c'est-à-dire avec 8 à 10 0/0 d'eau. On emploie alors des presses du genre Dorsten à pilon. Cette presse se compose de deux ou quatre pilons soulevés par des cames et retombant à trois reprises sur la brique à comprimer et d'une hauteur chaque fois plus grande; la compression est ainsi très énergique et progressive. Les briques sortant de ces presses sont très fermes et peuvent être envoyées directement aux fours.

Les briques sont aussi fabriquées en pâte molle; on ajoute alors à la poudre 18 à 20 0/0 d'eau et on utilise des machines à filières employées dans la fabrication des briques ordinaires. Mais ces briques doivent être séchées; les séchoirs à briques sont tous du type à tunnel bien connu.

Dans la préparation par voie humide, les matières premières sont jetées dans les délayeurs; ce sont de grandes cuves dans lesquelles tournent des herses et des agitateurs puissants qui opèrent un brassage énergique.

La quantité d'eau employée est de 60 à 80 0/0. La pâte liquide sort des délayeurs en traversant des toiles métalliques à mailles serrées.

Les parties trop dures qui résistent au délayage restent ainsi dans l'appareil et celui-ci est nettoyé de temps en temps. La pâte est reçue dans de grands réservoirs appelés bassins doseurs. Ces bassins sont munis d'agitateurs qui permettent d'obtenir une homogénéité parfaite de mélange. On prélève dans ces bassins des échantillons qui sont analysés rapidement et l'on peut modifier, s'il est besoin, la composition de la pâte.

## Cuisson.

Les premiers fours employés étaient à marche intermittente. C'étaient des fours à cuve analogues aux fours à chaux; mais cette cuve était surmontée d'une cheminée conique de quelques mètres de hauteur. Puis on a fait un premier perfectionnement avec les fours à séchoirs. Ces fours, employés en Angleterre où l'on utilise la voie humide, permettent d'envoyer directement aux séchoirs la pâte sortant des délayeurs; cette pâte est séchée par la chaleur perdue des fours; ceux-ci sont du type ordinaire dit à cuve; ils ont en général 8 à 10 m de hauteur et 3 à 4 m de diamètre. Les séchoirs sont constitués par des tunnels situés au niveau supérieur des fours; les gaz chauds sortant du four doivent passer par ces tunnels pour se rendre à la cheminée; il existe généralement une batterie de six à douze fours avec une seule cheminée.

On a donné ensuite aux fours ordinaires intermittents des dimensions de plus en plus grandes; en Allemagne, ces fours ont eu jusqu'à 7 m de diamètre et 15 m de hauteur; ils étaient surmontés d'une cheminée de 20 à 25 m.

Les fours intermittents ont été remplacés par des fours coulants ou à marche continue dont le premier type, et celui dont l'emploi est encore le plus fréquent, a été inventé par Dietzsch en 1885. Ce four, appelé aussi four à étages, se compose de deux parties : le réchauffeur, où les matières à cuire sont enfournées, et le creuset, où s'effectue la cuisson proprement dite.

Le four à étages donne des résultats très satisfaisants ; il permet d'employer des combustibles en poussière. La dépense de charbon n'est guère que de 15 à 18 0/0 du ciment cuit ; le ciment produit est cuit bien régulièrement.

Mais la conduite de ce four est pénible et nécessite l'emploi d'ouvriers spéciaux.

Les fours coulants du type Schneider ou Hauenschild et Timm sont plus simples et leur service est beaucoup plus facile. Le four Timm est construit entièrement en tôle ; il possède une double paroi entre laquelle l'air soufflé par un ventilateur circule avant d'arriver dans le four à peu près au tiers de la hauteur. Une autre partie de l'air arrive directement sous la grille ; les portes de défournement sont fermées hermétiquement. Le four Hauenschild présente des dispositions analogues. On a pu arriver à empêcher les collages du ciment aux parois du four qui, pendant longtemps, avaient mis obstacle à l'emploi des fours coulants, en disposant contre la chemise une couronne de briques destinée à isoler les briques réfractaires des matières en fusion.

Depuis une dizaine d'années le four rotatif a été introduit dans les fabriques de ciment des États-Unis et maintenant c'est ce système seul qui est employé dans toutes les usines de ce pays.

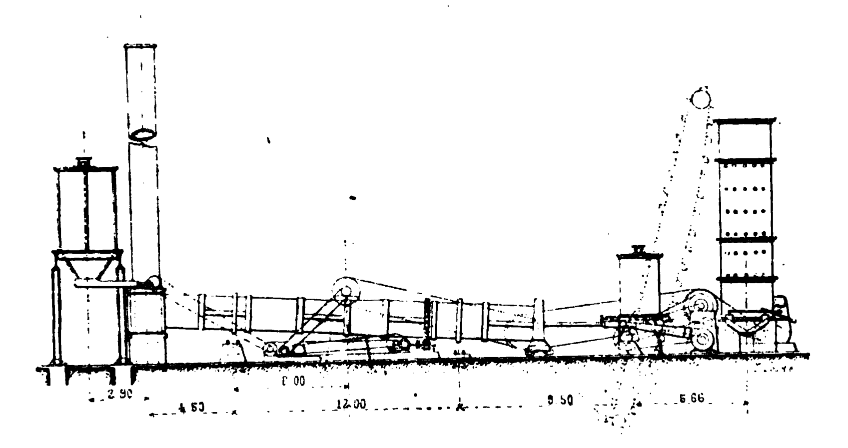



Fig. 1.

On trouvera dans l'étude de M. P. Roux, annexée à ce mémoire, des détails très intéressants sur l'industrie du ciment aux États-Unis, et en particulier, sur les fours rotatifs employés dans cette

contrée. Les premiers fours rotatifs ont été introduits en Europe en 1898, et actuellement on en compte plus de cent en activité, en Allemagne, en Belgique, en France, en Angleterre, en Danemark, en Espagne et en Italie.

Le premier four rotatif qui ait fonctionné industriellement a été installé à l'usine Atlas, en Pensylvanie, et c'est grâce aux efforts d'un de nos compatriotes, M. Giron, que ce four a été perfectionné et a pu être définitivement adopté.

Le four américain employé le plus fréquemment est un cylindre en tôle de 18 m de longueur, 1,80 m de diamètre, roulant sur des galets *(fig. 1)*; il est incliné de 4 0/0. La vitesse de rotation varie d'un tour en deux minutes à deux tours par minute; pour faire varier cette vitesse on utilise des poulies extensibles ou des dynamos à vitesse variable. La figure 2 montre les poulies

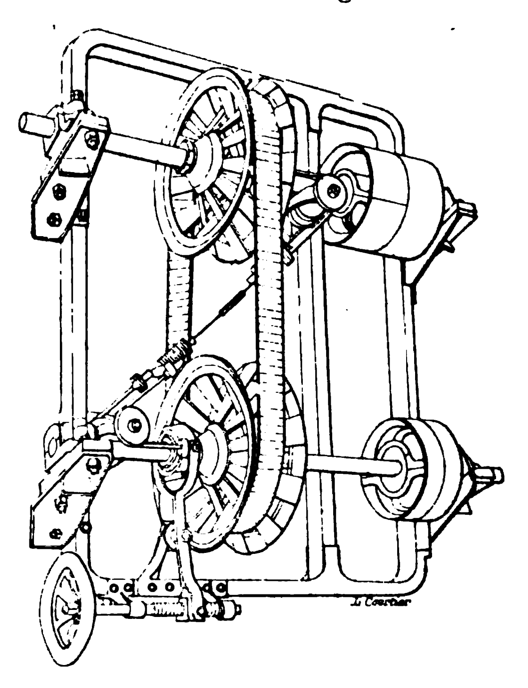


Fig. 2.

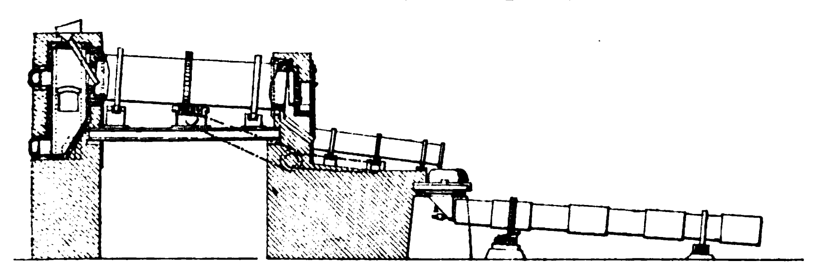
extensibles du système Fouillaron utilisées en France, et on peut se rendre compte facilement de leur fonctionnement. La matière à cuire est introduite en poudre à l'aide d'une vis à l'une des extrémités du four; à l'autre extrémité, on injecte du charbon en poudre qui produit la température nécessaire pour la cuisson.

soit 1 400 à 1 450 degrés. La poudre à cuire, entraînée par le mouvement de rotation du four, arrive peu à peu dans la zone de cuisson puis, après avoir été cuite, elle tombe sur un convoyeur ou dans une chaîne à godets. Dans beaucoup d'usines, le ciment sortant du four est simplement mis en tas et il se refroidit à l'air; dans d'autres, on élève le ciment et on le déverse dans un grand réservoir cylindrique en tôle, parcouru par un courant d'air.

La tête du four est fermée par un masque mobile qui permet d'entrer dans le four quand les réparations sont nécessaires.

Le charbon est injecté dans le four à l'aide d'un ventilateur; le charbon s'écoule d'un réservoir dans le conduit parcouru par l'air soufflé par le ventilateur.

Les fours rotatifs étaient chauffés dans le début au pétrole; depuis quelques années, on emploie à peu près exclusivement



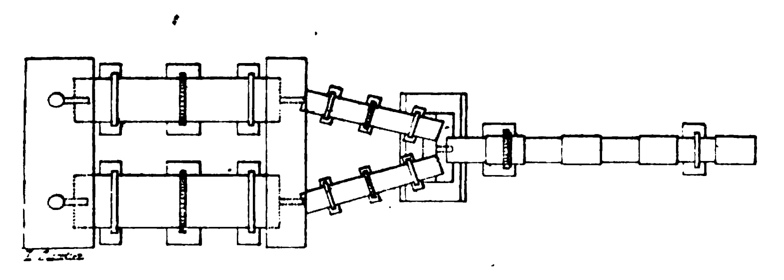


Fig. 3.

le charbon pulvérisé. Le four employé pour la voie sèche est souvent d'un diamètre moindre du côté de l'entrée des matières. Quand on utilise ce four avec la voie humide, le diamètre est le même d'un bout à l'autre.

Le four Hurry et Seaman, employé à l'usine Atlas, présente de notables perfectionnements sur les fours que nous venons de décrire. Le four proprement dit est également un cylindre de

18 m de longueur; mais le ciment cuit tombe dans un deuxième cylindre plus petit et de là dans un troisième; entre le deuxième et le troisième sont disposés des laminoirs qui broient les morceaux un peu trop gros; le courant d'air passant dans les cylindres et arrivant dans le four produit le refroidissement complet du ciment qui peut alors être envoyé directement aux broyeurs. L'air est en outre fortement chauffé et il en résulte une économie très sensible de combustible. Le charbon est projeté dans le four par un courant d'air à la pression de 3 à 4 kg provenant d'un compresseur; le charbon est entraîné hors du réservoir par une vis dont la vitesse de rotation est variable; on peut ainsi régler la quantité de charbon employée au four. Le charbon pulvérisé, avant d'arriver au four, passe par une vis tournant à grande vitesse dans un tuyau de 3 m de longueur environ. Le charbon est ainsi brassé énergiquement; il arrive dans le brûleur d'une manière très régulière et se trouve mélangé intimement avec l'air arrivant du compresseur *(fig. 3)*.

L'emploi d'air comprimé, au lieu d'air soufflé par un ventilateur, procure l'avantage de rapprocher de l'extrémité du four la zone de cuisson; celle-ci se trouve, en effet, dans les 4 ou 5 derniers mètres, tandis qu'avec le ventilateur, la zone de cuisson est souvent à 8 ou 10 m de l'orifice de sortie du ciment. Il en résulte que l'on peut très facilement détruire les collages s'ils viennent à se former.

De plus, MM. Hurry et Seaman ont pu résoudre le problème très difficile de préserver la chemise réfractaire contre la destruction rapide qui se produit dans presque tous les fours rotatifs ordinaires. Ils forment avec le ciment cuit une chemise protectrice qui est appliquée et maintenue contre la paroi du four à l'aide d'un procédé particulier; avec cette chemise en ciment de 4 à 5 cm d'épaisseur, les collages ne se produisent pas et les briques réfractaires restent intactes pendant très longtemps.

Les fours de la Brennofen Bauanstalt (Société allemande qui a introduit les premiers fours rotatifs en Europe) ont de 30 à 32 m de longueur et 2 m de diamètre; ils possèdent un seul cylindre refroidisseur de 12 m de longueur. L'air utilisé pour l'injection du charbon est puisé par le ventilateur dans ce cylindre; on a ainsi un refroidissement parfait du ciment et l'air chaud est renvoyé au four *(fig. 4)*. Ces fours sont construits par la maison Polysius, de Dessau.

MM. Fellner et Ziégler ont réalisé une disposition à peu près

semblable; les dimensions du four et du refroidisseur sont les mêmes. Mais l'air chaud aspiré dans le refroidisseur est envoyé au séchoir à charbon; on récupère ainsi la chaleur du ciment

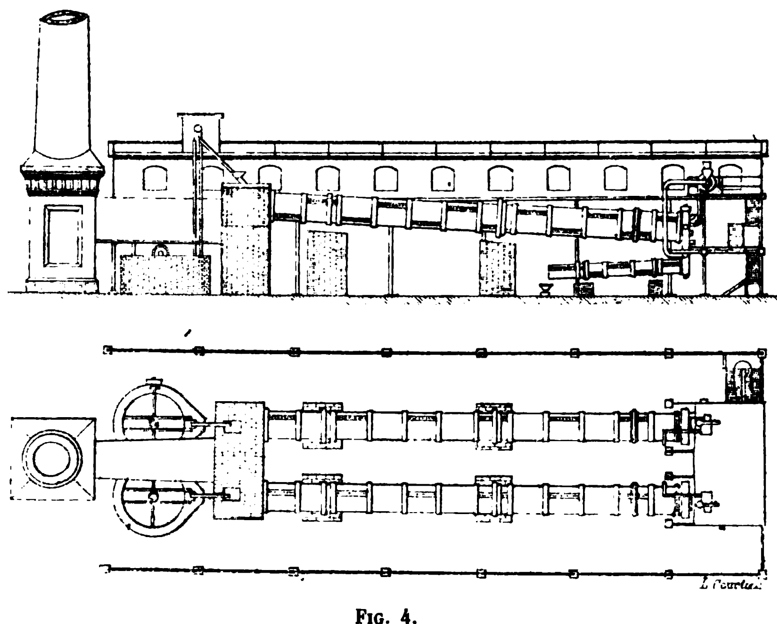


Fig. 4.

sortant du four; mais l'air injecté dans le four est à la température ordinaire et il en résulte que la zone de cuisson est assez loin de l'orifice de sortie (*fig. 5*).

Avec ces deux derniers systèmes de four, on peut utiliser les gaz chauds sortant des fours au séchage des matières premières quand on utilise la voie sèche; les gaz passent alors dans un cylindre situé au-dessus du four et dans lequel circulent en sens inverse les matières à sécher.

Les matières premières préparées par voie sèche sont introduites en poudre dans le four à l'aide d'une vis fonctionnant dans un water-jacket. Quand il s'agit des matières préparées par voie humide, la pâte liquide, à 40 à 50 0/0 d'eau, est envoyée au four, soit à l'aide d'une pompe, soit par une chaîne à godets.

La production d'un four ordinaire de 18 m de longueur, est de 18 à 20 t par jour avec la voie humide et de 25 à 30 t avec la voie sèche.

Avec des fours de 30 m, on peut arriver à une production de 30 à 40 t dans le premier cas et de 40 à 50 t dans le second

La tendance paraît être actuellement de faire des fours de plus en plus longs. Edison, dans l'usine de New-Village, a installé des fours de 45 m de longueur et de 2,70 m de diamètre, qui doivent produire 7 à 8 t à l'heure.

La consommation de combustible était autrefois considérable avec le four rotatif ordinaire. Il existait, en effet, des pertes de

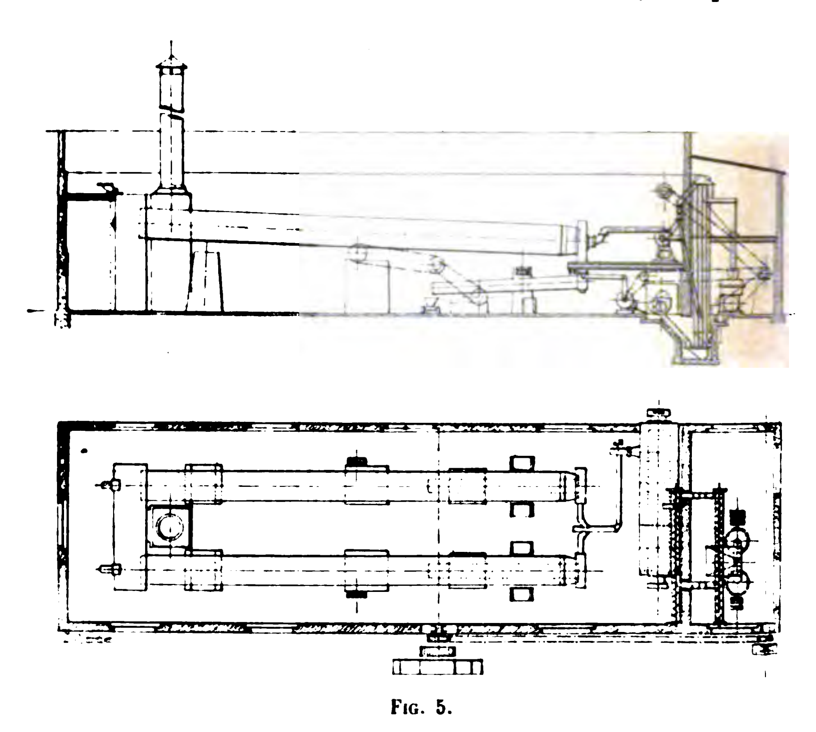


Fig. 5.

chaleur très grandes et on arrivait à dépenser 50 à 60 0/0 de charbon; il fallait y ajouter le combustible pour la force motrice et le séchage du charbon.

Maintenant, avec les fours rotatifs perfectionnés, on arrive à ne pas dépasser 30 0/0 de combustible avec la voie humide et 25 0/0 avec la voie sèche. Avec les fours de dimensions plus grandes, il est probable que la consommation de charbon pourra être réduite et se rapprochera de celle des meilleurs fours coulants fixes.

Le four rotatif permet de réduire la main-d'œuvre dans de grandes proportions; un seul cuiseur peut conduire facilement deux ou trois fours; la marche des matières, depuis le broyeur du moulin préparateur, jusqu'aux silos et à l'embarillage peut

être constamment automatique sans qu'aucun ouvrier ait à intervenir autrement que pour la surveillance et le graissage. Avec la voie sèche, on supprime la mise en briques et le séchage de celles-ci, qui nécessitent des manipulations coûteuses. Avec la voie humide, on évite le décantage, la reprise dans les bassins et le séchage, qui demandent toujours beaucoup de main-d'œuvre et de combustible. Le triage du ciment à la sortie des fours est complètement supprimé; le ciment du four rotatif est en effet pratiquement sans incuits.

En Amérique, il n'existe pour ainsi dire plus de fours fixes; toutes les usines créées dans ces dernières années emploient le four rotatif. Il est vraisemblable qu'en Europe il en sera de même et que peu à peu tous les fours actuels seront remplacés par le four tournant. Les usines travaillant par voie humide ont un intérêt incontestable à adopter ce système de four; pour celles qui travaillent à la voie sèche, l'avantage n'est pas aussi grand, parce qu'elles peuvent utiliser des fours fixes ne consommant pas plus de 14 à 15 0/0 de combustible. Jusqu'à présent la dépense de combustible avec le four tournant travaillant dans les meilleures conditions, n'est pas descendue au-dessous de 25 0/0 auxquels il faut ajouter le charbon nécessaire pour le séchage, et la force motrice.

Dans les pays où la main-d'œuvre est bon marché et le charbon relativement cher, le four tournant n'est, par conséquent, pas plus économique que les fours fixes. Mais si on arrive à cuire dans le four rotatif avec moins de 20 0/0 de combustible, comme les Américains prétendent y avoir réussi avec des fours de 45 m de longueur, produisant plus de 100 t. par jour, il faudra bien reconnaître que, dans presque tous les cas, la préférence devra être donnée au four rotatif.

## Mouture du ciment cuit.

Le ciment, à la sortie du four, se présente sous la forme de morceaux très irréguliers, très durs, de densité élevée et de couleur noire ou noir verdâtre. On extrait souvent des fours fixes des masses assez volumineuses de ciment cuit qu'il faut désagréger à la masse, et c'est un travail très pénible. Le ciment des fours rotatifs est en petits grains généralement assez réguliers comme grosseur, et il est assez rare que l'on y trouve un

morceau de la grosseur du poing. Pour broyer le ciment cuit et le réduire en poudre fine, on employait autrefois exclusivement les meules; les gros morceaux étaient cassés à la main ou passaient au concasseur Blacke. Puis on a employé des cylindres lamineurs qui facilitent le travail des meules.

Aujourd'hui les meules ont été définitivement abandonnées, et les appareils de broyage les plus usités sont le broyeur à boulets, le broyeur Griffin et le tube broyeur.

Le broyeur à boulets est semblable à ceux qui sont employés dans nombre d'industries et il ne présente rien de particulier. Dans les broyeurs de Luther, les plaques sont jointives. Il y a seulement deux rentrées pour les matières qui ne sont pas encore assez fines pour traverser les tamis. Les plaques, au lieu d'être percées d'un assez grand nombre de trous, portent des encoches placées de telle sorte que presque toute la plaque reste lisse et l'action des boulets est ainsi plus efficace.

Dans le broyeur Pfeiffer, les plaques sont en trois parties. Comme c'est toujours le bord de la plaque qui s'use le plus vite, on n'a que cette partie à remplacer. La maison Schmidt préconise un broyeur à boulets dans lequel les plaques sont jointives et sans trous; les matières entrent d'un côté et sortent broyées de l'autre par l'axe du broyeur; à leur sortie elles tombent dans un tambour conique garni de toile métallique et faisant corps avec le broyeur; par suite de l'inclinaison de ce tamis, les refus retournent de l'autre côté de l'entrée du broyeur où ils sont relevés et renvoyés dans celui-ci par des palettes convenablement disposées. Le broyeur Griffin est très employé en Amérique. Il se compose essentiellement d'un meuleton suspendu à l'extrémité d'un arbre vertical recevant un mouvement de rotation par sa partie supérieure. Ce meuleton vient rouler sur une couronne contre laquelle les grains de ciment projetés par l'action de palettes placées au-dessus et en dessous du meuleton se trouvent réduits en poudre fine; celle-ci sort du broyeur en traversant une toile métallique entourant l'appareil et placée au-dessus de la couronne de roulement.

Pour utiliser cet appareil, il faut commencer par réduire le ciment en grains assez fins; on emploie généralement, en Amérique, les broyeurs de Gate ou Mackully.

Bien que le broyeur à boulets soit un appareil avec lequel on peut réduire directement le ciment en poudre aussi fine qu'on le désire, il est très rare qu'il soit employé seul. On se contente géné-

ralement d'obtenir avec ce broyeur une poudre assez grossière, et celle-ci est rendue tout à fait fine à l'aide d'un tube broyeur. Cet appareil se compose d'un cylindre de 5 à 6 m de longueur et de 1,50 m de diamètre; il tourne sur des tourillons et la matière à broyer pénètre à l'aide d'une vis par l'un d'eux. Le broyeur est rempli à moitié environ de galets en silex; la vitesse de rotation est de 24 à 25 tours par minute. La poudre, avons-nous dit, entre d'un côté dans l'appareil et, en s'avançant progressivement dans le broyeur, elle est réduite en poudre de plus en plus fine; la sortie se fait soit par des ouvertures ménagées sur la circonférence, soit par le centre, comme à l'entrée. Ce broyeur n'est autre, en somme, que le broyeur Alsing à marche continue; cette marche continue a été réalisée pour la première fois par M. Raty; c'est M. Davidsen qui lui a donné les dispositions pratiques permettant d'obtenir un grand rendement avec le minimum d'usure.

Quand on utilisait les meules pour le broyage du ciment, on devait faire passer la poudre dans des bluteries qui renvoyaient aux meules les parties trop grosses. Les bluteries ont disparu depuis que les meules ont été abandonnées. On se sert cependant encore d'appareils appelés séparateurs et dans lesquels s'opère le blutage par ventilation. Ces appareils sont disposés généralement à la suite des broyeurs à boulets; ils séparent la poudre suffisamment fine, qui est envoyée aux ensacheurs, et les grains encore trop gros retournent au broyeur ou sont renvoyés au tube finisseur. Le plus usité de ces séparateurs est celui dit de Mumford et Moodie.

Le ciment est moulu assez finement pour que la poudre passe complètement, ou à peu près, au tamis de 900 mailles par centimètre carré (n° 80). Le résidu restant sur le tamis de 4900 mailles par centimètre carré ne dépasse pas généralement 25 0/0.

## Statistique.

Jusqu'en ces dernières années, le pays produisant la plus grande quantité de ciment Portland était l'Allemagne; il a été distancé par les États-Unis qui, en 1903, ont produit plus de trois millions de tonnes de ciment Portland artificiel. L'essor de cette industrie a été prodigieux en Amérique. La première usine date de 1872; en 1882, on ne fabriquait encore que 13000 t; en 1892, la production ne s'élevait qu'à 100000 t; mais dix années après elle atteint 2800000 t et, en 1903, elle est de 3400000 t. Avec

les nouvelles usines en construction, on peut envisager que la production annuelle atteindra bientôt 4 millions de tonnes. Une seule usine possède plus de cent fours rotatifs et peut produire plus de 2000 t par jour.

Le développement de l'industrie du ciment, en Allemagne, n'a pas été moins considérable qu'aux États-Unis; en 1880, on comptait à peine quelques usines; en 1890, la production était déjà de 1 500 000 t et, en 1900, elle atteignait plus de 3 millions de tonnes. Mais, depuis cette époque, une crise assez intense a fait baisser la production; la diminution croissante du marché d'exportation a été la cause principale de cette crise, et il faut reconnaître que les pays qui doivent compter sur l'exportation pour écouler leurs produits se trouvent de plus en plus dans la nécessité de réduire leur fabrication. La Belgique est dans ce cas; de nombreuses usines se sont créées depuis une dizaine d'années et leur capacité de production serait bien supérieure à tous les besoins si elles travaillaient en plein. Mais les pays où l'on ne fabrique pas de ciment deviennent de plus en plus rares. Nous avons vu que les États-Unis, qui étaient le marché le plus important pour les usines belges et allemandes, puisqu'il absorbait plus de 500 000 t par an, sont devenus les plus grands producteurs du monde. On fabrique du ciment au Canada, en Australie, en Nouvelle-Zélande, en Chine, où il existe, à Hong-Kong, une usine produisant 50 000 t; en Indo-Chine, où l'usine de Haïphong produit 30 000 t; au Japon, il y a plus de dix fabriques de ciment. L'Amérique du Sud reste encore un débouché assez important, notamment la République Argentine et le Brésil, qui absorbent d'assez grandes quantités de ciment; mais il est question d'installer des usines au Brésil et au Chili. En Égypte, une Société belge a fondé une usine près du Caire, il y a quelques années, et on parle de la construction d'une deuxième usine. Comme on le voit, les débouchés se ferment peu à peu.

En Europe, c'est l'Angleterre qui, après l'Allemagne, produit le plus de ciment; les usines les plus importantes sont situées sur la Medway et fabriquent environ 1 500 000 t par an. Ces usines, réunies presque toutes en une Société unique appelée « Associated Portland Cement Limited » ont adopté le four rotatif du système Hurry et Seaman.

En Russie, on trouve environ vingt-cinq usines avec une production totale dépassant un million de tonnes. La fabrication du ciment a fait de grands progrès dans ce pays depuis quelques

années, grâce aux travaux de savants tels que Schuliatchenko et Bélélubsky, notre éminent collègue.

La France ne vient qu'après la Belgique dans la production du ciment Portland; celle-ci est, en effet, à peine de 500 000 t, tandis que la Belgique en produit au moins 600 000 et pourrait doubler cette production. Le principal centre de l'industrie du ciment, en France, se trouve dans le Boulonnais; l'usine de Boulogne, créée en 1845 par Demarle, a été pendant longtemps la plus importante du monde. La voie humide est utilisée exclusivement par les usines du Boulonnais, qui exploitent une marne argileuse très tendre existant en masses considérables, d'extraction très facile. Dans l'Yonne, on trouve deux usines travaillant par voie sèche; enfin les usines de Pagny (Meuse), de Palinges (Saône-et-Loire), de Grenoble et de Marseille emploient aussi la voie sèche. Le four rotatif a été introduit, en France, à l'usine de Dennemont, près Mantes, puis on en a installé à Haubourdin, près de Lille, à Boulogne, et deux usines en construction près de Bordeaux l'ont adopté.

En Italie, on compte seulement deux ou trois usines de ciment artificiel, dont une créée récemment près de Venise, et où il existe des fours rotatifs. En Espagne, il n'existe que trois usines produisant du ciment Portland; deux de ces usines possèdent des fours rotatifs.

Parmi les pays d'Europe dans lesquels la fabrication du ciment Portland est importante, on peut citer encore la Suisse, l'Autriche, la Suède, le Danemark; enfin, on trouve trois usines en Roumanie, une en Grèce et une en Portugal.

La production totale actuelle peut être estimée à 12 à 13 millions de tonnes par an, représentant une valeur de 400 millions de francs environ.

---

# ORGANISATION ET OUTILLAGE

DU

# LABORATOIRE D'ESSAIS

# DU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

PAR

M. A. PEROT

Le laboratoire d'essais du Conservatoire a été créé par un décret du 19 mai 1900, organisé par une loi et un décret du 9 juillet 1901, à la suite d'une convention passée entre M. le Ministre du Commerce, le Conservatoire et la Chambre de commerce de Paris. Cette convention a permis de réaliser les fonds nécessaires à l'aménagement et à l'acquisition de l'outillage, grâce à l'importante contribution de la Chambre de commerce de Paris, qui s'est fait, en faveur du laboratoire, attribuer une partie du legs Giffard. A ces subsides initiaux, il faut joindre ceux de la Société des Ingénieurs Civils, qui a manifesté ainsi l'intérêt qu'elle prend au laboratoire, et les bonnes volontés de tous les industriels et des constructeurs, qui ont favorisé le laboratoire dans l'exécution des commandes qui leur avaient été confiées. Les Chambres de commerce de toute la France, et les grands industriels s'intéresseront sans nul doute à cette création, quand ils se seront rendu compte des services qu'elle est appelée à leur rendre.

## But et attributions.

Le but du laboratoire est de permettre aux industriels, aux commerçants et aux particuliers de soumettre des produits bruts ou manufacturés de toute nature, des machines et des appareils aux essais, aux études et aux recherches nécessaires pour les qualifier. Sa compétence actuelle comprend :

Le domaine général de la physique moins l'électricité;

Les métaux, chaux, ciments, pierres, matériaux de construction, les bois;

Les machines de toute nature autres que les machines électriques et tous leurs accessoires;

Les matières premières végétales nouvelles ou insuffisamment connues;

Les combustibles, les huiles de graissage, les huiles, essences et alcools d'éclairage, de force motrice et de chauffage.

En dehors de l'électricité, qui a été systématiquement laissée de côté, les opérations chimiques consistant en analyses isolées, qui ne sont ni la conséquence ni le complément d'autres essais portant sur des produits connus ou manufacturés, sont restées en dehors des attributions du laboratoire. Cette résolution a été inspirée par la Chambre de commerce de Paris, bien que le titre initial du laboratoire renferme le vocable : « Essais chimiques ». D'autre part, à la suite d'un accord intervenu entre les administrations intéressées, il a été entendu que la clientèle industrielle, commerciale et particulière serait intégralement réservée au laboratoire d'essais, et que tout ce qui concerne les Travaux publics serait fait au laboratoire des Ponts et Chaussées. Cette démarcation était nécessaire, pour que les deux laboratoires ne se fissent pas une concurrence funeste.

Ces diverses attributions ont été réparties entre cinq sections : la section de physique, la section des essais des métaux, la section des essais des matériaux de construction, la section des essais des machines, enfin la section des recherches et essais sur les matières premières végétales nouvelles ou insuffisamment connues. Si le laboratoire est appelé à faire des essais courants, par exemple pour les métaux, à déterminer les résistances de rupture, il est appelé aussi à faire des recherches, à étudier, dans le même ordre d'idées, les traitements thermiques des métaux et leur influence sur la qualité du métal. Le rôle du laboratoire est donc de se mettre à la disposition du public et des industriels, pour, dans les limites de son pouvoir, faire tout ce qu'on lui demande.

D'un autre côté, une part, modeste actuellement, a été laissée aux recherches personnelles des agents, et il est nécessaire que ces recherches personnelles soient faites pour que ceux-ci gardent leur valeur scientifique et même la développent.

## Bâtiments.

Le laboratoire est installé partie dans un bâtiment neuf, partie dans les anciens locaux du Conservatoire.

I. — Le bâtiment neuf a été construit dans le jardin du Conservatoire. Il se compose d'une salle de 85 m de longueur sur 15 m de largeur, qui est en contre-bas de 2 m sur le sol naturel de façon à ménager l'éclairage des galeries. Le sous-sol du bâtiment Vaucanson a été dégagé, l'air et la lumière lui ont été donnés sur la cour intérieure du laboratoire et sur la rue Vaucanson. Les parois des anciennes caves d'expériences où Tresca et Morin ont fait leurs recherches ont été recouvertes de carreaux céramiques et constituent un laboratoire de métrologie de premier ordre, grâce à leur propreté et à la constance de la température. Dans la moitié des combles du bâtiment Vaucanson se trouvent les laboratoires de chimie. En outre, le laboratoire où l'étalon métrique international a été déduit du mètre des archives et l'ancienne usine électrique du Conservatoire avec sa machine à vapeur ont été annexés au laboratoire.

Dans la cour peuvent être faits, et ont déjà été faits, des essais de planchers en béton armé.

Les matériaux sont manutentionnés par deux grues pivotantes permettant de les descendre dans la cour ou dans le bâtiment par une large baie.

Le bâtiment principal, séparé en deux, dans sa longueur, par une cloison, comprend comme pièce principale une grande salle de 85 mètres de longueur sur 9 mètres de largeur. Cette pièce est desservie par une voie ferrée et un pont roulant.

La seconde partie du bâtiment nouveau est divisée en différentes salles de dimensions variées; à citer, en particulier, l'atelier de mécanique, qui comprend les machines-outils commandées électriquement.

L'ensemble des surfaces du laboratoire comprend 4400 m².

# SECTIONS

## Section I.

### Objet principal : Essais physiques.

La section de physique est compétente pour toutes les déterminations de physique, sauf les déterminations électriques. Elle s'occupe des mesures de longueur, des vis, de la vérification des instruments de polymétrie chimique, de celle des poids, des baromètres, des aréomètres, des manomètres, des thermomètres. Elle a assumé la tâche de la vérification des alcoomètres et des densimètres employés en sucrerie, autrefois remplie par un bureau spécial actuellement incorporé au laboratoire.

Elle examine les thermomètres, entre autres et surtout les thermomètres médicaux ; à cet effet, on compare ces appareils à des étalons aux points 36, 39 et 41 ; on s'assure, de plus, que le réservoir est bien rempli et qu'ils tiennent le maximum, c'est-à-dire que la colonne ne descend pas spontanément. L'examen de ces thermomètres est de première nécessité pour la santé publique ; il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner les résultats obtenus sur les premiers instruments apportés par les commissionnaires à un moment où, n'étant pas prévenus, ils ont envoyé les instruments qu'ils vendaient couramment. Sur 400 instruments, 124 seulement, c'est-à-dire 31 0/0 ont été trouvés satisfaisants et 376, c'est-à-dire 69 0/0 défectueux ont été rejetés. En se servant de ces instruments, on avait donc plus de deux chances contre une de fournir au médecin des indications de nature à fausser son diagnostic.

Ce service a pris une grande extension dans l'année qui vient de s'écouler; en 1904, 18000 thermomètres médicaux ont été présentés; la progression de l'envoi des instruments a montré nettement que cette vérification répond à un réel besoin.

La vérification ne coûte, d'ailleurs, que 0,62 f quand on présente plus de 10 instruments à la fois.

Chaque thermomètre bon porte gravé au dos la mention RF C. A. M. avec l'année, la lettre M et un numéro d'ordre. Il est accompagné d'un certificat reproduisant ces indications.

En dehors des thermomètres médicaux, la section I vérifie les

thermomètres de précision, de demi-précision, etc., voire même ceux qui sont destinés à l'usage domestique et les pyromètres. On effectue la détermination des pouvoirs calorifiques des combustibles, les étalonnages de diapasons, les mesures photométriques sur les diverses sources autres que les sources électriques, becs à incandescence, becs à acétylène, etc., toutes les déterminations d'optique, les tarages de saccharimètres, et en général, de tous les instruments de physique.

L'examen des objectifs photographiques mérite quelques indications.

Un objectif est défini par sa surface focale, plus ou moins complexe suivant les défectuosités de l'appareil. En photographiant une grande mire sur une plaque à 45 degrés sur l'axe de l'objectif, on obtient une section de la surface focale par le plan de la plaque; cette surface est dès lors déterminée si elle est de révolution, sinon, en faisant tourner l'objectif sur lui-même, on peut avoir plusieurs sections; de l'examen du cliché de la mire, on peut déduire les propriétés de l'objectif, et quand on connaît l'usage auquel il est destiné, sa qualité que l'on peut exprimer par une mention. Les mentions accordées sont : très bon, bon, passable, médiocre.

Il faut citer encore, dans la section de physique, un grand manomètre absolu, allant à 24 kg et un appareil à vérifier et étalonner les sextants, de tout premier ordre.

SECTION II.

## Objet principal : Essais des métaux.

Dans la section d'essai des métaux, on trouve en première ligne la machine universelle d'essai, qui, développant un effort maximum de 300 t, permet de faire des essais de traction sur des éprouvettes de métaux, sur des chaînes et sur des câbles de mines ayant jusqu'à 45 cm de largeur avec une longueur maximum de 25 m. On a envoyé déjà, pour les tirer, des chaînes ayant 18 m de longueur.

Cette machine permet des compressions pour l'étude du flambage de pièces ayant jusqu'à 27 m de longueur, des flexions sur 6 m de portée; des compressions sur des bandages de roues jusqu'à 3 m de diamètre. On peut expérimenter à la torsion des barres de 60 mm d'équarrissage sur 1 m de longueur, cisailler

des métaux et poinçonner des trous de 60 mm de diamètre. C'est une machine unique en France.

La production de la force est hydraulique. La machine consiste essentiellement en un cylindre hydraulique placé à la partie inférieure. Le piston pousse devant lui un bâti de fonte de 25 m de longueur reposant sur des galets; à l'extrémité se trouve la poutre de flexion, appuyée sur un sommier d'acier; ce sommier est rattaché à l'aide de tiges d'acier à une bascule qui prend appui sur le fond du cylindre; on a donc un système à forces intérieures.

Les boulons de fondation n'ont à résister qu'aux chocs produits lors de la rupture. Une tête mobile peut se déplacer et s'amarrer en différents endroits du bâti. Une tête fixe placée à l'intérieur du bâti et indépendante de lui est reliée à la bascule. Pour faire une traction, on amarre la tête mobile en un point convenable du bâti et on attache la pièce à tirer, d'une part, à cette tête mobile et, de l'autre, à la tête fixe. Le bâti, poussé par le piston, exerce une traction sur la tête fixe par l'intermédiaire de l'éprouvette.

Au-dessus du grand cylindre s'en trouve un petit servant à la mise en place du bâti. Enfin, à la partie supérieure est placé le fléau actionné par une série de leviers, dont le premier prend appui sur le fond du cylindre. Ce fléau est équilibré à l'aide d'un contrepoids, qu'un homme déplace suivant les besoins; sa course totale correspond à 60 t. Lorsque le contrepoids est arrivé à l'extrémité du fléau, on le remet à zéro et on dépose à l'extrémité du fléau un poids supplémentaire. Il y a quatre de ces poids, permettant de faire quatre fois la course du fléau avec poids supplémentaires et une fois sans poids supplémentaire.

Les éprouvettes de torsion sont prises dans un appareil spécial et le moment de torsion est mesuré par la bascule. Un accumulateur hydraulique pouvant donner cinq pressions différentes et asservi à l'aide d'un servo-moteur agissant sur le moteur de la pompe actionne cette machine.

De plus, la section des métaux possède : une machine Maillard et une machine Trayvou, qui existait au Laboratoire avant sa création. Cette dernière est actionnée électriquement et l'ouvrier a sous la main les rhéostats voulus pour commander le moteur et faire varier sa vitesse; une presse Morane : cette presse a servi à Tresca pour ses expériences sur les métaux.

Une machine très intéressante est celle qui sert à déterminer le pouvoir lubrifiant des huiles et le coefficient de frottement des métaux. Elle repose sur le principe suivant : un axe d'acier mù par un moteur électrique tourne à une vitesse réglable; il supporte à son extrémité un palier prolongé à la partie inférieure par une tige portant des contrepoids. Le palier est libre de se tourner autour de l'axe et n'est sollicité que par la pesanteur; quand l'axe tourne, le palier tend à être entraîné par le frottement de l'axe sur lui, le pendule constitué par la tige est dévié de la verticale d'un angle qui mesure le moment du frottement; on peut faire varier la pression des coussinets du palier sur l'axe. Deux thermomètres permettent de mesurer la température.

On peut avec cette machine faire différents essais :

1° Déterminer le coefficient de frottement d'une huile pour une vitesse et une pression données;

2° Déterminer, dans des conditions déterminées, la quantité d'huile à fournir pour maintenir une élévation de température donnée;

3° Déterminer les valeurs du coefficient de frottement et la dépense à faire dans différentes conditions de vitesse et de pression. Ceci constitue l'étude complète de l'huile.

De plus, on peut étudier avec cette machine les métaux antifriction. Les coussinets sont alors construits avec les métaux à qualifier.

La section des métaux possède encore des machines de traction plus petites, notamment deux dynamomètres pour les tissus, une cisailleuse-plieuse, une machine à efforts alternatifs de 4 t, pour l'essai des caoutchoucs et des ressorts, une machine à essayer les fils à la torsion et un mouton permettant une chute de 4 m avec 40 kg, pour produire soit des flexions sur deux appuis, soit des flexions sur des éprouvettes encastrées, ou des chocs à la traction.

Enfin, un laboratoire de micrographie contient les appareils voulus pour étudier les métaux au point de vue de leur constitution, notamment les aciers; on y trouve des fours électriques à arc ou à résistance, des fours à gaz pour la trempe et le revenu.

SECTION III.

## Section des essais de matériaux de construction.

Les essais de cette section s'appliquent aux chaux, ciments, mortiers, plâtres, produits réfractaires, pierres naturelles et artificielles, enduits, produits céramiques, peintures, produits ignifuges, verre, etc., en un mot aux matériaux de construction autres que les métaux.

Elle effectue tous les essais courants auxquels on peut soumettre les matériaux bruts ou manufacturés. Pour donner une idée de l'importance de ces essais, signalons que, pour les chaux et ciments, les éprouvettes peuvent être conservées pendant dix années dans l'air, l'acide carbonique, l'eau douce, l'eau de mer artificielle ou tout autre corps désigné.

Les essais chimiques ne sont exécutés que s'ils sont adjoints ou doivent servir de base à d'autres essais.

Relativement aux pièces confectionnées, des essais très importants et très intéressants ont déjà été effectués sur des planchers en béton armé de 5 m de portée et 10 m² de superficie, construits spécialement dans ce but. A cet effet, le Laboratoire dispose d'une charge d'environ 50 t pouvant être répartie sur la surface du plancher.

Outre ces essais industriels, la section peut entreprendre toutes les recherches scientifiques intéressant les matériaux de construction, soit par ses propres ressources, soit avec l'aide d'autres sections du Laboratoire, notamment de la section de physique.

En dehors des essais proprement dits, la section exécute pour le compte des industriels et particuliers toutes les opérations pouvant les intéresser.

Elle peut suivre la fabrication d'un produit rentrant dans sa compétence par l'examen successif d'échantillons envoyés au Laboratoire, ou prélevés par elle dans les différentes phases de la fabrication.

La caractéristique de cette section est de présenter une usine complète, capable de traiter les produits bruts qui lui sont soumis par des procédés et à l'aide d'appareils industriels, avec l'avantage, rarement présenté par les usines, même les mieux outillées, de pouvoir procéder à des esssais scientifiques, soit en cours de fabrication, soit sur les produits fabriqués.

C'est ainsi que l'on peut citer, parmi bien d'autres, le cas d'une fabrication complète de chaux hydraulique, chaux lourde et ciment de grappiers, demandée par le propriétaire d'une importante carrière américaine, étude pour laquelle les calcaires essayés ont été cuits, puis la chaux produite éteinte, blutée, et les grappiers obtenus traités tout à fait industriellement, pour donner de la chaux lourde et du ciment de grappiers, produits qui ensuite ont été essayés par les méthodes officiellement employées.

Il en est de même d'une étude complète de fabrication de briques, comportant le prélèvement des échantillons et leur traitement complet avec fabrication de petites briques préparées, cuites et essayées au Laboratoire.

La section s'est également outillée pour la fabrication industrielle des agglomérés silico-calcaires, industrie qui, en Allemagne, a pris un essor considérable alors qu'elle est à peu près nulle en France.

L'outillage de la section se divise en deux parties :

1° *Appareils de fabrication.* — Les appareils nécessaires au broyage, blutage et malaxage, comprenant :

Des pileries, broyeurs, bluterie, malaxeur-pétrisseur, filtre-presse, turbine, appareil à filer, etc. ;

Deux fours à moufles et à plein feu et un grand four vertical permettant d'obtenir la température de 1 700 degrés; une autoclave timbrée à 18 kg pour l'étude des silico-calcaires.

Pour le travail des pierres :

Un châssis de marbrier permettant de scier au grès ou au grain d'acier des blocs ayant jusqu'à 0,40 m, une scie diamantée et un grand lapidaire;

2° *Appareils d'essais.* — Ces appareils comprennent :

Deux presses Amsler-Laffon de 30 t et 5 t avec réducteurs à 7 et 2 t;

Des machines Amsler-Tetmajer et Bohme pour la fabrication des eprouvettes en mortier, un appareil de traction Michaelis;

Une série de bacs en ciment et en céramique ainsi qu'une armoire également en ciment pour la conservation des éprouvettes de ciment;

Une machine à acide carbonique liquide pour les essais de gélivité ;

Une machine à user de Dorry pour l'usure des pierres et des carreaux;

Une machine à user les matériaux d'empierrement;

Une machine Amsler pour les essais de perméabilité, un scléromètre Martens et les divers petits appareils nécessaires pour les études des ciments et des chaux.

De plus, un laboratoire de chimie et un de micrographie font partie de cette section.

SECTION IV.

## Section des essais de machines.

La section des essais des machines est celle dont les travaux sont le plus varié. Elle a à répondre à des demandes qui, parfois, nécessitent la construction d'appareils nouveaux ou un outillage tout spécial. Dernièrement, par exemple, on a envoyé un anémomètre à vérifier. Il a été possible, grâce à la bonne volonté d'un grand constructeur parisien, de produire, à l'aide d'un ventilateur de 25 ch, la tempête nécessaire pour effectuer le tarage de l'appareil. Il faut que cette section soit particulièrement souple et possède un grand choix de machines diverses, pour pouvoir répondre à toutes les demandes.

Elle possède, en particulier, une machine à vapeur de 35 ch. Cette machine est desservie par une chaudière qui a été munie d'un surchauffeur permettant de faire des recherches sur la vapeur surchauffée;

Un compresseur d'air, qui distribue dans le Laboratoire de l'air à 15 kg; des appareils pour le tarage des compteurs à eau et des compteurs à gaz; des citernes et des caniveaux permettant l'essai de pompes, avec récupération de l'eau. Ces installations sont assez puissantes pour fournir un débit de 1 000 m³ à l'heure. Un gazogène pour l'étude des combustibles est relié à un moteur à gaz de 25 ch, possédant un frein, de sorte qu'on puisse étudier le gaz produit à l'aide de l'appareil même qu'il doit actionner. Elle possède un dynamomètre pour déterminer la puissance des voitures automobiles à la jante. Cet appareil consiste en deux tambours montés sur le même axe, dépassant à peine le sol. Les roues d'arrière, placées sur ces tambours, les entraînent par friction, la voiture amarrée à l'aide d'un dynamomètre restant immobile. Une dynamo est reliée à l'appareil, de sorte

que l'on peut freiner l'appareil en faisant débiter du courant à cette dynamo.

La mesure se fait en relevant le nombre de tours de la voiture, la hauteur de l'axe de l'essieu au-dessus des tambours et l'effort de traction (1).

La section est appelée assez souvent à l'extérieur pour des essais de chaudières et de moteurs à pétrole ou à gaz, et possède les instruments voulus pour ces études. Parmi les appareils intéressants, on peut citer une dynamo dynamométrique, machine dans laquelle l'inducteur peut osciller autour du même axe que l'induit; on maintient l'inducteur en équilibre en plaçant à l'extrémité d'un levier les poids voulus pour contre-balancer le moment produit par l'induit sur les inducteurs et celui des frottements; sa puissance est d'une vingtaine de chevaux.

Il faut encore citer les appareils employés pour l'étude des calorifuges. Ils consistent en tubes de cuivre épais dans lesquels est placée une résistance électrique; on détermine la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un tube pour maintenir sa paroi à une température déterminée : 1° lorsque le tube est nu: 2° lorsqu'il est recouvert du calorifuge à essayer. En répétant les expériences pour différentes températures, on peut qualifier complètement le calorifuge. Les frigorifuges sont également étudiés, mais par un procédé un peu différent, conduisant, d'ailleurs, aux mêmes résultats.

Un appareil pour l'étude des courroies a été installé et donne des résultats très intéressants.

SECTION V.

## Objet : recherches et essais sur les matières premières végétales nouvelles ou insuffisamment connues.

La compétence de cette section est limitée, en général, aux *matières premières végétales, nouvelles ou insuffisamment connues*, tant au point de vue des essais qu'à celui des recherches.

Toutefois, elle comprend les *bois de construction* courants au point de vue des altérations et de l'analyse chimique, les essais mécaniques étant faits par la section II;

(1) Cet appareil a reçu des voitures de course produisant des vitesses de 120 km à l'heure.

Les *caoutchoucs* manufacturés dont elle fait l'analyse comme corollaire des essais faits dans les autres sections.

La section s'occupe spécialement, en raison de son outillage presque parfait sur ces points :

1° *Des matières grasses nouvelles;*
2° *Des caoutchoucs;*
3° *Des textiles nouveaux;*
4° *Des bois nouveaux.*

Le rôle dévolu à la section est celui de l'ancien Laboratoire de Botanique économique de l'Office national du Commerce extérieur; c'est en particulier, de renseigner les importateurs sur la valeur des nouvelles matières premières importées, soit par leur examen et leur détermination, soit par leur mise en œuvre proprement dite, pour les caoutchoucs et les graisses en particulier; dans ce dernier but, la section possède des appareils d'un modèle réduit constituant une petite usine qui permet le traitement des graisses et des caoutchoucs dans les conditions de la pratique industrielle.

La section possède tout d'abord l'outillage complet d'un laboratoire de chimie végétale, d'un laboratoire de micrographie et de microchimie, une installation de photo et microphotographie, formant un tout assez complet pour faire toutes les déterminations, nous ne nous y arrêterons pas; des appareils optiques (spectroscope, spectrophotomètre, polarimètre, colorimètre, réfractomètre); des appareils enregistreurs, un viscosimètre, un appareil à point d'inflammabilité pour l'étude des huiles, sont compris dans cet outillage.

Elle possède en outre, rassemblées dans un même local, deux presses hydrauliques : l'une à plateaux, chauffée à la vapeur, destinée à la vulcanisation des gommes brutes, a été combinée de telle sorte qu'elle puisse servir de presse à extraction à chaud pour les matières grasses en particulier; l'autre presse, très puissante, permet l'extraction des jus à haute pression et du contenu de toutes les cellules végétales; des appareils de trituration et une pilerie actionnés au moteur; un grand appareil à extraction par solvants, permettant de traiter 40 kg de plantes à la fois; un filtre-presse à plateaux, pour la filtration à pression variable, à l'abri ou au contact de l'air, des jus de toutes consistances, depuis les liquides jusqu'aux pâtes; enfin, une véritable usine à caoutchouc comprenant : déchiqueteur, mélangeur,

autoclave et presse à vulcaniser, à laquelle manque seulement une calandre ; une petite chaudière Field est spécialement affectée au chauffage des appareils de cette installation, qui forme un ensemble destiné à rendre les plus grands services aux importateurs des produits si mal connus tirés de notre domaine colonial, et des pays étrangers de la zone tropicale.

La cinquième section est également outillée pour l'étude des végétaux inférieurs, susceptibles de servir d'agents transformateurs des matières premières dans l'industrie, ou d'altérer les matières premières.

## Résultats.

Actuellement le nombre des demandes qui ont été adressées atteint 1.860. Ces demandes sont d'ailleurs, d'importances tout à fait diverses, correspondant à tous les genres d'essai que le laboratoire peut faire, mais leur progression est intéressante, elle résulte de l'examen du nombre des demandes qui a été :

| | |
|---|---|
| Du 1er décembre 1901 au 31 octobre 1902 . . . . . . | 176 |
| Du 31 octobre 1902 au 31 octobre 1903 . . . . . . . | 412 |
| Du 31 octobre 1903 au 31 octobre 1904 . . . . . . . | 937 |

A ces essais correspondent des taxes que le laboratoire perçoit, mais il importe de remarquer que l'accroissement des taxes ne veut pas dire enrichissement, il signifie seulement accroissement d'activité. L'année dernière, par exemple, les recettes du laboratoire, du fait des taxes, ont été intégralement absorbées par l'entretien. L'établissement n'est pas en déficit, mais son budget s'équilibre à peu près juste et c'est-là le résultat cherché, car si la collectivité, représentée par l'État qui donne une subvention capable actuellement de payer le personnel, et par la Chambre de commerce de Paris qui a fourni les fonds de premier établissement, doit entrer pour une part dans les dépenses, le pays tout entier profitant des progrès que le laboratoire fera faire à l'industrie, il est juste que les demandeurs qui jouissent individuellement les premiers de l'institution payent les frais matériels des essais qu'ils sollicitent.

Ce qu'a rapporté le contrôle légal des alcoomètres et des densimètres, somme encaissée par le ministère des Finances et ne revenant pas au laboratoire, est laissé ici de côté.

Les essais les plus demandés sont : pour la section de physique les essais de thermomètres et ceux de photométrie ; pour la section des métaux, les essais de traction sur éprouvettes et ceux des câbles de mines et des câbles métalliques faits à la grande machine, enfin les essais d'huile ; pour la section des matériaux de construction, les essais de chaux et de ciments, ceux de briques et de pierres ; pour la section des machines on ne peut guère citer comme courants que les essais de calorifuges et les essais relatifs aux moteurs à pétrole, étant donnée comme je le disais plus haut, la diversité des demandes. La section des recherches et essais sur les matières végétales a fait peu d'essais mais d'assez nombreuses recherches sur des produits coloniaux de diverses natures.

Quant aux recherches scientifiques proprement dites, dues à l'initiative propre du personnel, on s'expliquera qu'elles soient encore peu nombreuses, si l'on considère que le personnel a dû organiser le laboratoire et mettre sur pied des essais souvent délicats ; on peut toutefois citer, soit comme terminés, soit comme en cours d'exécution, des travaux sur le dosage de la chaux et la fabrication des silico-calcaires par M. Leduc ; sur l'effet des sollicitations vives et lentes du fer et de l'acier par M. Breuil ; sur les calorifuges et sur le fonctionnement des courroies par M. Boyer-Guillon en collaboration avec M. Auclair ; sur la fragilité de certains aciers par M. Michel Lévy et moi-même. De plus, la revision du grand travail de MM. Michelson et Benoît sur la mesure des longueurs d'onde de cadmium en valeur absolue sera reprise prochainement au laboratoire en collaboration avec le Bureau international des Poids et Mesures et M. Fabry.

## Rapports avec le public.

Les essais effectués au laboratoire sont rémunérés suivant des taxes étudiées et votées par la Commission technique du laboratoire et par le Conseil d'administration du Conservatoire des Arts et Métiers. A côté du personnel propre du laboratoire existe une Commission technique étudiant toutes les questions techniques, et aucune décision de cette nature n'est prise par le Conseil d'administration, ni par le ministre, sans que la Commission ait été appelée à donner son avis et en ait délibéré. Quand un industriel veut avoir recours au laboratoire, il n'a qu'à adresser une

demande sur papier libre au Directeur, cette demande est enregistrée et l'essai exécuté. Le coût de l'essai doit être versé avant ou au commencement de l'expérience. Le laboratoire délivre un procès-verbal signé par le chef de la Section compétente et visé par le Directeur du laboratoire. Ce procès-verbal consigne les essais et est laissé au demandeur, dont les résultats sont la propriété personnelle; ceux-ci ne peuvent être communiqués à des tiers, ni être publiés dans les travaux du laboratoire qu'avec son autorisation expresse. Les agents du laboratoire sont astreints au secret professionnel. Ce point est très important et indispensable, par exemple pour les inventeurs; il est arrivé en effet que des machines ou des appareils aient été mis au point au laboratoire.

A signaler encore le *Bulletin du laboratoire*, où sont insérés les résultats des recherches des agents du laboratoire et des essais faits pour des industriels lorsque ceux-ci ont donné l'autorisation de les publier. Cinq fascicules sont actuellement parus. Le laboratoire ne prend pas la responsabilité des idées émises par ses collaborateurs dans leurs recherches scientifiques et personnelles tant pour assurer la liberté scientifique que pour ne pas être engagé dans des polémiques pour lesquelles il n'est pas fait.

Les industriels ont un intérêt de premier ordre à s'adresser au laboratoire, du fait de sa nature même. Ses attaches officielles sont, en effet, heureusement complétées par la part si large réservée, dans le Conseil d'administration du Conservatoire et dans la Commission technique du laboratoire, aux membres de la Chambre de commerce de Paris, aux Ingénieurs, à des représentants éminents de l'industrie et du commerce; de telle sorte que les procès-verbaux officiels délivrés par le laboratoire répondront à tous les besoins, et suivront tous les progrès de l'industrie.

En outre, ils ont les qualités suivantes précieuses à plus d'un titre :

Ils présentent le summum de précision que l'on puisse exiger, grâce à l'outillage perfectionné du laboratoire, décrit sommairement plus haut, dont une grande partie est unique, au moins en France.

Ils sont établis par des fonctionnaires dont l'indépendance vis-à-vis des industriels et commerçants est absolue, et, par suite, l'impartialité indéniable; qui, d'ailleurs, spécialisés chacun dans

la partie dont il est chargé, sont au courant des méthodes nouvelles, des résultats récents, et peuvent à propos de certains essais aider les industriels de leurs avis.

Ils possèdent, grâce aux deux qualités ci-dessus, une valeur probante qui sera hautement appréciée des industriels consciencieux et de leurs clients.

Il y a donc lieu d'espérer qu'en cas de litige le commerce et l'industrie estimeront les certificats du laboratoire à une valeur telle que des sentences arbitrales en découleront d'elles-mêmes, arrêtant les contestations dès leur origine.

L'œuvre réalisée ainsi est unique, parce que nulle part, à l'étranger, ne se rencontre un ensemble aussi puissamment doté. A l'étranger on rencontre un laboratoire des métaux, un laboratoire de mécanique, un laboratoire de physique, mais nulle part on ne trouve réunies les cinq sections du laboratoire d'essais du Conservatoire.

Le laboratoire, en effet, à l'inverse de certains instituts analogues, représente un ensemble unique formé par l'union de différents organes tous réunis dans un ensemble homogène. Il n'est pas douteux que cela ne se prête à une meilleure utilisation du personnel, si les sections qui le composent savent s'entr'aider comme elles le doivent. Il n'est pas téméraire de penser que le laboratoire rendra les plus grands services si chacun, bien pénétré de cette pensée féconde que la Science est faite pour aider l'industrie, sait lui faire appel et recourir à lui.

# LE DIRIGEABLE LEBAUDY

PAR

M. H. JULLIOT

---

Cette communication comprend quatre parties, savoir :

1° Un *exposé préliminaire* indiquant les éléments dont la réunion a été nécessaire pour obtenir un résultat;

2° La *description du Dirigeable* et de son garage habituel;

3° Un *historique de ses ascensions et voyages*;

4° Les indications des *applications pratiques* dont il est susceptible.

## PREMIÈRE PARTIE

C'est en mai 1896 que nous avons commencé les études de cette question.

Au bout d'un mois de travail, nous constations qu'il nous manquait au moins quatre éléments essentiels : d'abord un bon projet; le premier était trop vaste, trop complexe; aussi pour le réaliser il aurait fallu disposer d'un métal à la fois léger comme l'aluminium et résistant comme l'acier; il aurait fallu disposer aussi d'un transformateur d'énergie pesant moins d'un kilogramme par poncelet et ne consommant presque pas de matière; enfin, quatrième point, nous n'avions pas personnellement les ressources pécuniaires nécessaires pour essayer et réaliser nos idées.

Mais le temps est un grand facteur, et trois ans plus tard, en 1899, il avait suffisamment créé, et rapproché les quatre éléments.

D'abord notre projet, dont la description fera l'objet de la deuxième partie de cette communication, était devenu plus simple et meilleur.

D'autre part, la métallurgie avait créé un alliage, qui, s'il n'est pas léger, est doué d'une résistance telle qu'on peut l'employer sous de faibles poids.

Il s'agit de l'acier au nickel, et, en particulier de celui à 12 0/0 de nickel; cet alliage, en effet, est susceptible d'une résistance à la rupture de 175 kg par millimètre carré; il est vrai qu'il est alors fragile, et n'a qu'un faible allongement de 4 0/0; mais en lui faisant subir un recuit doucissant, en acceptant de diminuer sa résistance aux environs de la valeur encore très grande de 100 kg, le défaut de fragilité disparaît, et l'allongement devient 18 0/0, ce qui est très suffisant.

De plus, l'acier au nickel est susceptible de prendre des formes variées; nous avons pu l'employer sous forme de tubes étirés ayant de 20 à 40 mm de diamètre, de 6/10 à 2 mm d'épaisseur, ce qui donne une grande marge d'efforts avec faibles poids; nous avons pu l'employer sous la forme de cornières minces; de blocs, à même desquels on a taillé des engrenages; de tubes épais pour les arbres de transmission et leurs fourreaux; on a pu le braser, etc., etc.

Ces faits ont été de la première importance. Ils nous ont permis de faire des poutres, des fractions de carcasse, une nacelle, à la fois résistantes, légères, et *sûres*, d'abandonner la construction habituelle en bois, ou bambou, ou osier, qui faisait ressembler un ballon à une vessie portant quelques ficelles et quelques lattes; nous avons pu alors obtenir l'aspect métallique et mécanique qui est une des caractéristiques du dirigeable; cela lui donne un aspect spécial de sécurité et a permis de serrer de très près les résultats des calculs, ce que le manque d'homogénéité des matières d'origine végétale ne permettrait pas de faire impunément.

L'impression de sécurité due au métallisme de la construction se ressent surtout devant le ballon lui-même; mais l'examen des plans donne déjà un peu cette impression.

Le troisième élément, celui du transformateur d'énergie léger, a été fourni par l'industrie automobile à la suite de la limitation à 1 000 kg du poids total des voitures de courses; il en est résulté pour les constructeurs l'obligation de créer des moteurs de plus en plus puissants pour le même poids; dès 1900, on pouvait en trouver ne pesant que 10 kg par poncelet, ne consommant que 425 g d'essence par poncelet-heure, et se contentant d'employer comme agent de refroidissement un tiers de kilogramme d'eau sans renouvellement. On fait encore beaucoup mieux maintenant, mais les conditions que nous venons d'énumérer étaient déjà suffisantes pour la navigation aérienne.

Lorsqu'on se rappelle la place occupée par un générateur à bouilleurs avec carneau et cheminée, desservant une machine à balancier et condenseur de 40 ch, on juge du chemin parcouru en examinant les plans de la nacelle.

Enfin, le quatrième obstacle a été levé par MM. Paul et Pierre Lebaudy; ils ont bien voulu, au moment de nos premières ouvertures, se rendre compte que nos propositions étaient réalisables et ils nous ont autorisé à employer non seulement les sommes considérables qui étaient nécessaires, mais aussi leurs organisations, technique et administrative.

Nous étions donc munis en 1899-1900 des quatre éléments nécessaires; nous avons employé les années 1899, 1900, 1901, à faire des essais de moteurs, d'hélices, à construire et à essayer les parties mécaniques et métalliques du dirigeable.

Lorsque tout cela a été terminé, mis au point, *et pesé*, et que le hangar a été construit, nous nous sommes adressés, pour établir l'enveloppe, que nous aurions mal faite nous-même, à un spécialiste, M. Surcouf, Ingénieur-aéronaute; il a bien voulu apprécier notre projet, et nous a spontanément offert de piloter les premières ascensions; nous avons accepté avec empressement, car il est indispensable qu'un appareil de ce genre soit conduit non pas seulement par un théoricien, mais par un *aéronaute complet*, doué de sang-froid et de coup d'œil.

Les premières ascensions ont été faites sous la conduite de M. Surcouf; elles ont eu lieu, avec succès, en octobre et novembre 1902.

Puis, M. Surcouf et moi, nous avons dû reprendre la direction de nos établissements respectifs, et il fallait, pour continuer à employer le dirigeable, le confier à un équipage spécial; nous avons eu la bonne fortune de pouvoir composer cet équipage de deux hommes des plus capables, MM. Juchmès et Rey.

M. Juchmès, lauréat des concours d'aérostation de l'Exposition de 1900, est à la fois constructeur et conducteur de ballons; M. Rey, modeste mais précieux mécanicien, est à la fois ajusteur et chauffeur; sous leur conduite, de nombreuses ascensions et de véritables voyages ont été réalisés, chaque année, en 1903 et 1904, sans aucun accident de personne.

Les ascensions sont maintenant au nombre de *63;* elles ont permis à 26 personnes de monter dans le dirigeable; elles n'ont pas été faites chaque année avec de nouveaux appareils, mais toujours avec le même, doté chaque hiver des améliorations

entrevues pendant l'année précédente; l'exécution de ces améliorations, et même l'exécution d'une nouvelle enveloppe, ont été confiées à MM. Juchmès et Rey.

Nous venons d'appliquer cette méthode d'amélioration encore une fois, et le modèle 1905, qui est en gonflement aujourd'hui même (1) va incessamment entamer une nouvelle campagne.

## DEUXIÈME PARTIE.

## Description du dirigeable et de son garage habituel.

Tous les nombres donnés au cours de cette description sont relatifs au dernier modèle qui ait fonctionné, c'est-à-dire au modèle 1904; nous aurons du reste l'occasion de dire en quoi consiste la différence entre ce type est celui de 1905.

### Ballon.

D'abord, cet appareil de navigation aérienne est un *ballon*, un ballon équilibré dans l'air, naturellement, sans le secours de la force motrice qu'il porte.

Nous sommes d'avis, en effet, que la solution du plus lourd que l'air ne permettra pas de résultat pratique d'ici longtemps. Il ne faut décourager personne; cette solution n'est pas théoriquement impossible, et les oiseaux nous en donnent des preuves innombrables et quotidiennes; mais les oiseaux possèdent un moteur qui ne s'arrête jamais, *qui n'a pas de panne;* le moteur des oiseaux (cœur et poumons) obéit immédiatement au pilote, c'est-à-dire au cerveau, qui commande de la façon la plus immédiate, la plus directe, les organes multiples, ailes, queue, pattes, servant à la sustension, à la propulsion, à la direction, à l'équilibre, aux départs et aux atterrissages.

Malheureusement, nous ne disposons encore de rien de semblable.

Il y a bien un moteur qui peut marcher longtemps, des années, sans s'arrêter, et qui peut diviser et répartir son action dans de multiples endroits; c'est le moteur électrique (ou mieux la transmission d'énergie par moteurs électriques); mais il est encore beaucoup trop lourd par lui-même et par sa source

(1) 19 mai 1905.

d'énergie ; s'il existait des dynamos très légères, et pouvant être commandées par une source également très légère ou pouvant être commandées à des distances variables, sans fils, d'une façon *sûre*, par une source d'énergie fixe, alors on pourrait peut-être s'atteler au problème de la navigation aérienne par un appareil plus lourd que l'air.

Jusque-là, tout appareil de ce genre est voué à la destruction si son moteur s'arrête.

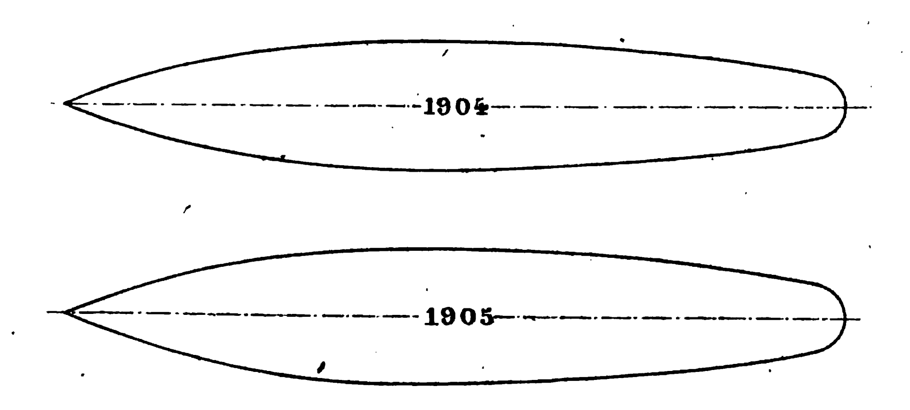
On a tenté de doter ce genre d'appareils de surfaces assez étendues pour régler la chute et la transformer en descente ; mais ces surfaces ne pourraient être efficaces qu'à la condition d'être très étendues, elles deviennent alors plus gênantes que le ballon capable de soutenir le même moteur ; de plus, la forme et la disposition à donner à ces surfaces pour qu'elles soient en tout cas efficaces, qu'elles gardent leur équilibre à la fois dans la propulsion et dans la descente, pour qu'elles ne *capotent pas*, ne sont pas encore trouvées.

Essayons, cependant, de calculer quelles devraient être ces surfaces pour qu'elles permissent la descente sans chute d'un homme et d'un système propulseur d'une certaine importance, ou, à plus forte raison, de plusieurs hommes et de tous les appareils indispensables ; nous trouvons des étendues importantes, dont la construction, tant soit peu rigide, ne peut se réaliser qu'avec des matériaux résistants et pesants, qui nécessitent un nouvel agrandissement des dimensions, et ainsi de suite ; nous nous sommes arrêtés dans cette voie, découragés et nous rappelant alors que la nature elle-même, qui travaille comme un laboratoire de recherches, s'était arrêtée aussi ; elle a fait de gros mammifères, sur terre et dans l'eau ; elle n'a pas fait de gros oiseaux ; lorsqu'elle a dépassé une certaine limite, elle a senti qu'elle se trompait, elle a alors rogné les ailes, et elle a doté ses plus gros oiseaux, les autruches, de bonnes pattes ; de sorte que si elles ne volent pas, elles courent bien.

Considérons, au contraire, le ballon dirigeable ; si son moteur s'arrête, il ne court aucun danger ; il se manœuvre alors comme un ballon ordinaire, et choisit comme lui, pour descendre, une plaine favorable située plus ou moins loin dans le lit du vent. D'autre part, plus le ballon est grand, plus il donne de ressources.

Voici, par exemple, deux tracés qui représentent, l'un notre modèle 1904, l'autre notre modèle 1905 ; ils ne sont pas très

différents à première vue, cependant on distingue que le 1905 est un peu plus gros; il diffère, en effet, du 1904 en ce que ses dimensions *transversales* sont augmentées de 5 0/0; il en est de même de la surface du ballon et des inconvénients qu'elle présente; d'autre part, le maître couple et la résistance à la propulsion se trouvent augmentésde 11 0/0; mais, en même temps, le cube aussi se trouve augmenté de 11 0/0, et cette




augmentation m'a permis de renforcer le moteur de 25 0/0, ce qui accroîtra un peu la vitesse, et d'augmenter de 75 0/0 l'essence et le lest disponibles, c'est-à-dire la durée possible des voyages. Cet exemple est d'ailleurs mal choisi, et la démónstration serait encore plus probante avec un modèle plus allongé et de même maître couple que le 1904. Les raisonnements qui précèdent ne sont pas infirmés par les essais d'hélicoptères qui viennent d'avoir lieu cette semaine, et notre conclusion est que le présent est au *ballon* et que l'avenir est aux *gros ballons*.

## Gaz.

Le ballon doit être gonflé de gaz, et de préférence de *gaz hydrogène;* c'est le moyen de le faire le plus petit possible, et d'avoir, toutes choses égales d'ailleurs, un minimum de résistance à la propulsion.

Plus tard, les moteurs faisant de continuels progrès, on pourra se contenter de gaz d'éclairage, et on aura ainsi la facilité de se ravitailler près de la plupart des villes, ce qui sera d'une grande

commodité pour les voyages par escales; mais pour le moment, il ne faut pas se priver de l'avantage de l'hydrogène qui peut donner une force ascensionnelle supérieure de 60 0/0 à celle du gaz d'éclairage. Il faut seulement faire l'hydrogène aussi pur que possible; nous sommes arrivés dans cette voie à obtenir une force ascensionnelle de 1,180 kg par mètre cube, et alors le mètre cube de gaz ne pèse plus que 110 gr, impuretés comprises; il est donc absolument inutile de chercher à employer un gaz plusieurs fois plus léger que l'hydrogène; on ne gagnerait que quelques grammes au mètre cube; il est inutile aussi de chercher à supprimer le gaz et à employer le vide; il ne ferait aussi gagner que quelques grammes, et il obligerait à construire des enveloppes lourdes, rigides et charpentées, qui ne s'enlèveraient pas.

Nous employons, pour obtenir de l'hydrogène à 1 180 de force ascensionnelle, l'appareil générateur continu bien connu qui reçoit de la limaille de fer (sans fonte ni acier), et de l'acide sulfurique du commerce, à 60 degrés, qui n'a pas besoin d'être épuré spécialement. C'est le *gaz* qu'il faut épurer. Pour cela nous le lavons abondamment, par barbottage dans l'eau, par pluie d'eau, et par passage dans une colonne de coke sous une deuxième pluie d'eau. L'épuration se continue par le passage au travers d'une pâte poreuse composée de sciure de bois, de chaux, et de sulfate de fer, contenue dans un deuxième cylindre; ce mélange absorbe l'hydrogène sulfuré; le lavage à l'eau a fait disparaître l'acide entraîné, et l'acide et l'hydrogène sulfuré sont pernicieux pour la durée de l'enveloppe.

Le gaz passe ensuite au travers d'une deuxième pâte composée de farine fossile et de permanganate de chaux, contenue dans les deux cylindres suivants; elle absorbe, avec une assez forte production de chaleur, les hydrogènes arséniés et phosphatés qui seraient très dangereux pour le personnel; elle absorbe aussi les carbures qui augmentent la densité du gaz.

Le refroidissement et la dessiccation partielle du gaz sont obtenus par son passage dans un réfrigérant à surface; il est inutile de pousser la dessiccation trop loin; le gaz trop sec absorberait de l'eau au détriment de l'enveloppe.

L'épuration se termine par un passage sur de la soude caustique qui enlève l'acide carbonique venant de l'eau qui a servi à la dilution de l'acide sulfurique et aussi de la combustion des carbures par le permanganate.

En sortant de l'épurateur installé à Moisson, le gaz est vérifié dans une balance, et par un appareil à écoulement capillaire; il est très peu nocif, et il est inodore, à ce point que pour reconnaître sa présence et permettre les recherches des fuites, il a fallu le *parfumer* avec de la muronine.

Du gaz très pur (à 2 0/0 d'oxygène) peut être obtenu aussi par les procédés électrolytiques; enfin l'hydrogène peut se comprimer à très forte pression, 120 à 150 atmosphères, ce qui est précieux pour permettre les ravitaillements aux escales; c'est ainsi que nous avons ravitaillé plusieurs fois le dirigeable, au cours de ses voyages, au moyen de voitures-tubes qui nous ont été confiées par le Ministère de la Guerre; nous avons aussi employé des tubes fournis par les industries qui fabriquent couramment l'hydrogène et l'oxygène comprimés pour soudure autogène, et aussi du gaz apporté dans des ballons-réservoirs, véritables gazomètres d'étoffe. Nous pouvons indiquer, en passant, que les générateurs d'hydrogène d'une part, les accumulateurs ou réservoirs d'hydrogène comprimé d'autre part, sont, les uns et les autres, trop lourds pour être emportés utilement sous le ballon, qu'il est donc impossible de ravitailler autrement qu'à l'atterrissage; c'est ainsi que les tubes pèsent 70 kg pour 7 m, soit 10 kg par mètre cube.

Il existerait un moyen de ravitailler en l'air; ce serait d'employer l'hydrogène liquide, qui pourrait s'emporter dans des réservoirs légers; mais on ne le produit pas encore pratiquement, en quantités importantes, à un prix abordable; ce sera pour un peu plus tard.

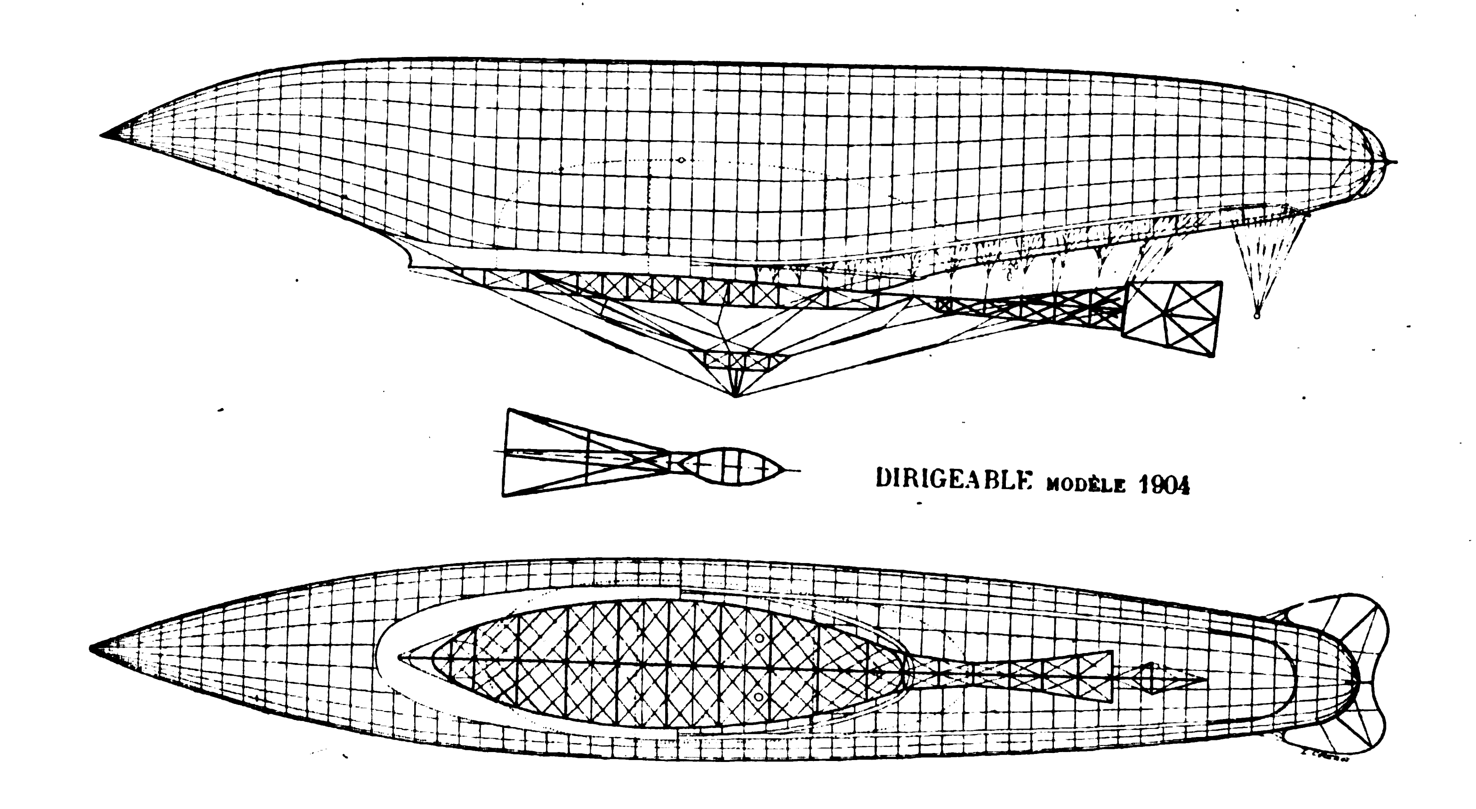
### Enveloppe. — Sa nature.

Il est donc entendu que le vaisseau aérien doit être un ballon, et un ballon gonflé d'hydrogène le plus pur possible.

C'est le moment d'indiquer à quelles qualités doit répondre l'enveloppe contenant cet hydrogène, quelles doivent être sa nature, ses formes, dimensions et accessoires.

La qualité essentielle que doit présenter l'enveloppe d'un ballon dirigeable (mais non pas sphérique libre), c'est la *rigidité*, la permanence de forme. Elle doit être maintenue autant que possible en tous temps, et, en tout cas, elle est absolument nécessaire pendant la propulsion.

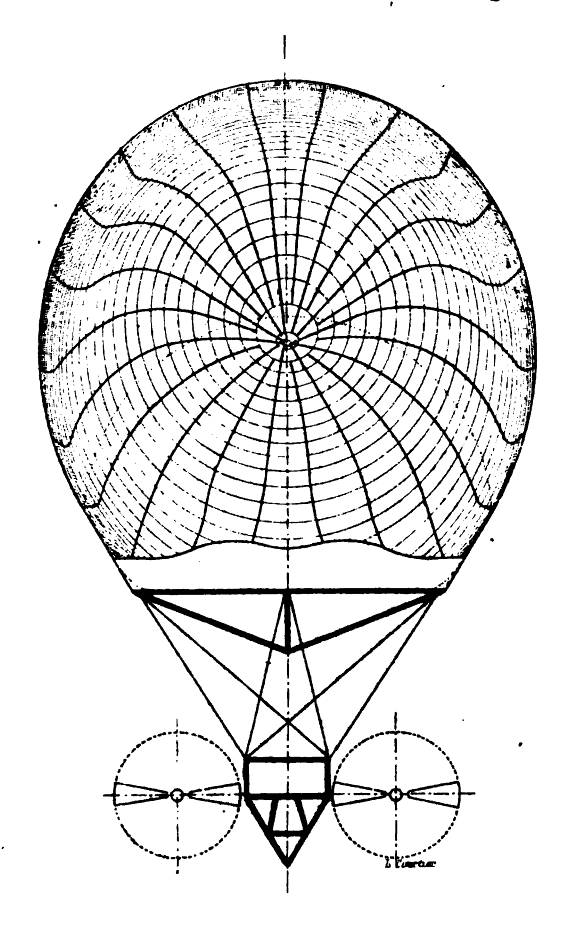
Une enveloppe flasque se déformerait sous la pression de la



DIRIGEABLE MODÈLE 1904

masse d'air dans laquelle on voudrait la faire avancer; il se produirait des poches qui nuiraient à la propulsion, la retarderaient, qui nuiraient aussi à la dirigeabilité et qui pourraient provoquer des déchirures de l'enveloppe.

Mais il est absolument inutile d'obtenir la rigidité par l'em-



ploi d'une enveloppe métallique continue ou par l'emploi de carcasses dessinant l'enveloppe extérieurement ou intérieurement.

Une enveloppe métallique continue serait trop lourde, ne serait pas étanche, et il serait très difficile d'en faire sortir complètement l'air pour le remplacer, sans mélange, par du gaz pur.

Une carcasse intérieure ou extérieure est à rejeter aussi; on a fait en Allemagne un dirigeable à carcasse intérieure, qui n'a pas marché; on le refait en ce moment et il marchera peut-être,

mais il marchera à coup sûr moins bien que si on avait disposé du poids important que représente la carcasse pour augmenter, sous le même cube de ballon, la puissance et l'approvisionnement du moteur, le nombre des aéronautes, le lest disponible, les engins d'arrêt, etc.

*C'est avec de l'étoffe* qu'il faut construire l'enveloppe d'un dirigeable et le moyen de la rendre rigide est des plus simples et des plus élégants: il consiste à lui donner et à maintenir une pression intérieure un peu plus forte que la pression atmosphérique ; nous nous sommes arrêtés à 20 mm d'eau de surpression pour les formes de notre modèle et pour la vitesse dont il est susceptible. En attendant que cette pression de 20 mm puisse être maintenue par addition d'hydrogène liquide vaporisé au moment opportun ou par l'échauffement du gaz par la chaleur perdue du moteur; nous nous sommes contentés pour le moment du moyen classique, c'est-à-dire de l'adjonction, au ballon d'étoffe, d'un ballonnet intérieur, dans lequel un ventilateur actionné par le moteur du dirigeable peut envoyer de l'air. Nous verrons plus loin que l'ensemble du ballonnet et du ventilateur rend encore d'autres services que le maintien de la rigidité des formes.

La deuxième qualité que doit présenter l'enveloppe est l'imperméabilité presque absolue à l'hydrogène.

Les étoffes les meilleures au point de vue de l'imperméabilité sont les étoffes caoutchoutées avec du caoutchouc vulcanisé, élastique, en couches minces, se prêtant, sans se déchirer, aux déformations. Notre enveloppe a *deux* couches de caoutchouc; de la sorte, les défauts inévitables de l'une des couches se trouvent bien rarement en face des défauts de l'autre couche; et la couche intérieure, en contact direct avec le gaz, préserve la partie solide de l'étoffe, le tissu, de l'altération par les impuretés du gaz, si celui-ci a été par inadvertance, mal épuré.

Il est possible de préparer des étoffes vernies imperméables, et cela se fait couramment pour les ballons sphériques libres sans pression intérieure; mais si on veut mettre de la pression dans une étoffe vernie, les trous des coutures s'ouvrent et livrent passage au gaz; avec l'étoffe caoutchoutée, les coutures se recouvrent de trois bandes d'étoffe caoutchoutée, et collées à la dissolution de *caoutchouc*, de sorte que l'enveloppe ainsi construite est imperméable partout, aux coutures comme en plein corps des panneaux.

De plus, l'étoffe caoutchoutée peut conserver son imperméabilité en magasin sans soins spéciaux; il n'en est pas de même de l'étoffe vernie qu'il faut ventiler périodiquement si on ne veut pas la voir s'altérer, et qu'il faut revernir de temps en temps, c'est-à-dire alourdir, si on veut la conserver à peu près imperméable.

La facilité de collage de bandes ou de pièces sur l'étoffe caoutchoutée permet aussi de réparer un ballon plein, sous pression, sans le vider, *pendant des mois*.

La troisième qualité que doit présenter l'enveloppe est la solidité, alliée à la légèreté; il faut que l'étoffe résiste à la pression intérieure sans que l'on soit obligé de l'envelopper d'un filet qui matelasserait la surface et serait trop lourd, ou d'une chemise, qui serait trop lourde; il faut que l'étoffe résiste en même temps à la traction exercée sur elle par les suspensions; les tissus de soie sont les meilleurs, les plus résistants et les plus légers; mais ils sont très chers, et nous avons obtenu une résistance suffisante (1400 kg par mètre linéaire) avec une étoffe composée de deux tissus de coton à fils parallèles, alternant avec deux couches de caoutchouc vulcanisé, et qui pèse 330 g par mètre superficiel. Il y a lieu de réserver la soie pour un modèle plus puissant et plus rapide encore.

La quatrième qualité est la *durée*; nous avons vu que le caoutchouc intérieur préservait le tissu vis à vis du gaz; pour préserver le caoutchouc lui-même, qui craint la lumière, il suffit de teindre le tissu extérieur d'une couleur inactinique, du bichromate de plomb jaune par exemple; c'est à cette teinte que le dirigeable a dû le surnom sous lequel on l'a d'abord connu.

### Forme de l'enveloppe et dimensions.

Nous connaissons la nature de l'enveloppe; quelle forme faut-il lui donner? Il faut, d'abord rejeter la forme sphérique, et lui préférer la forme allongée dans le sens horizontal; elle donne moins de résistance à la propulsion pour un même cube; on a dit cela il y a bien longtemps, mais il faut le répéter, car l'année dernière encore, on a essayé de propulser un ballon sphérique, et même on y a réussi un jour, mais, bien entendu, on n'a pu lui donner qu'une vitesse insignifiante.

La forme allongée adoptée doit être très simple, il est inutile de chercher à la compliquer; les éléments successifs de la surface

doivent être autant que possible des circonférences normales au grand axe ; il ne faut pas s'éloigner des surfaces de révolution ; on ne le pourrait pas sans employer des armatures, partielles, mais déjà lourdes, et sans imposer à certaines parties de l'étoffe des tensions exagérées et dangereuses; enfin les formes compliquées sont inutiles. La forme adoptée consiste en un demi-fuseau antérieur complet, c'est-à-dire conservé jusqu'à son extrême pointe, qui avance dans l'air en en écartant les molécules avec un minimum de résistance et de travail; ce demi-fuseau, qui a 24,90 m de longueur, ne représente environ que les deux cinquièmes de la longueur totale, de telle sorte que le maître couple, de 9,80 m de diamètre, est en avant du milieu de la longueur. Il est suivi d'une autre portion de fuseau à très grand rayon qui fournit des sections décroissantes masquées par le maître couple, et autour desquelles l'air commence à se refermer; mais elles ne décroissent pas trop vite, ce qui permet d'avoir un cube important sans faire le ballon trop long. Enfin. l'enveloppe se termine par une partie ellipsoïdale, derrière laquelle il se produit, à la vérité, plus de remous que si cette partie postérieure était pointue ou méplate; mais ces remous ne sont pas très importants, puis la forme méplate tombe dans les inconvénients signalés plus haut; enfin la forme obtuse de l'arrière a permis d'y attacher un plan de stabilisation.

La partie arrière du ballon a 32,85 m de longueur, ce qui donne une longueur totale de 57,75 m ; l'allongement du ballon est donc (exactement) 5,89; on pourra dans l'avenir augmenter cet allongement sans danger, à la condition de développer les précautions que nous indiquerons tout à l'heure pour la stabilité.

Cette forme est celle de l'épure; elle s'est conservée à peu près en plan; dans le sens vertical, au contraire, elle a subi des altérations dues au mode de suspension, qui ont eu plus d'avantages que d'inconvénients.

Les dimensions adoptées donnent, pour le modèle 1904, un cube total de 2 666 m ; ce cube est suffisant pour enlever un peu plus de 3 000 kg, c'est-à-dire toutes les parties mécaniques et métalliques, quatre personnes, sept heures d'essence, des engins d'arrêt et de sécurité, et un poids de lest qui varie de 300 à 350 kg selon les conditions atmosphériques; on a pu, en diminuant le lest, emmener ensemble six personnes.

C'est là une grandeur moyenne, et il est bien entendu qu'elle n'a rien d'absolu, la voie du progrès sera dans la construction de

ballons de plus en plus puissants; le dirigeable suivra la même voie que le bateau à vapeur; les premiers étaient de 3 ch; il y en a maintenant de 15 à 20 000 ch et plus. Je ne sais pas, messieurs, si on fera jamais des dirigeables de 20 000 ch, mais on en fera, et j'en projette, de beaucoup plus de 40 ch et de plus de 3000 m. On en fera aussi de plus puissants pour un même cube.

### Accessoires de l'enveloppe.

Nous allons maintenant examiner les parties accessoires de l'enveloppe; les principales sont le ballonnet et son ventilateur. A l'intérieur de l'enveloppe, il n'y a, c'est entendu, ni armatures, ni rien, qu'une deuxième enveloppe beaucoup plus petite, en étoffe formée d'un seul tissu et d'une seule couche de caoutchouc, et qui constitue le ballonnet. C'est en insufflant de l'air dans le ballonnet qu'on maintient la pression intérieure dans les environs de 20 mm d'eau; le ballonnet est toujours vide au commencement de chaque ascension, de façon à emporter le plus de lest possible; si on le remplissait d'air il affecterait la forme indiquée sur le plan, mais jamais on n'en arrive là.

En cours d'ascension, le ballonnet présente une surface *flasque*, plus ou mois relevée, plus ou moins affaissée sur le ventre du ballon, selon la quantité d'air qu'il contient; la pression intérieure est, bien entendu, la même dans les deux parties de l'enveloppe. Le ballon n'est pas divisé par d'autres cloisons; elles seraient absolument inutiles; quand la pression est dans les environs de 20 mm, il n'y a aucun danger que la masse gazeuze se précipite d'une extrémité à l'autre, et menace la stabilité de l'ensemble; cela ne pourrait se faire que si l'enveloppe était flasque: mais c'est l'air du ballonnet partiellement rempli qui pourrait changer de place et modifier l'équilibre; c'est donc le ballonnet qui est divisé en trois compartiments, par deux cloisons qui n'ont pas besoin d'être étanches, et sont même percées en haut et en bas; l'air est insufflé dans le compartiment milieu qu'il soulève d'abord, et il se partage ensuite entre les compartiments extrêmes par les ouvertures des cloisons, qui ne sont que des retardatrices des mouvements inopportuns.

Le cube du ballonnet est de 500 m, c'est-à-dire en rapport avec le poids de lest et d'essence.

Le ventilateur qui l'alimente est en cuivre et aluminium, de manière que le choc des ailes sur la coquille ne puisse en aucun

cas produire des étincelles, qui, s'il y avait une fuite dans l'étoffe du ballonnet, pourraient enflammer le mélange détonant qu'il contiendrait.

Le ballonnet, le ventilateur et le lest, permettent les manœuvres les plus variées en altitude. Le ventilateur, qui tourne à 300 tours par minute, peut, quand il est embrayé, débiter 1 m³ par seconde; c'est-à-dire que si on jette de la nacelle un projectile de 20 kg, il suffit de 18 secondes pour mettre 18 m³ d'air dans le ballonnet, et reprendre avec ces 20 kg de lest-air l'équilibre vertical que le jet du projectile aurait pu compromettre; les 18 secondes peuvent se partager et précéder plus ou moins l'instant du jet du projectile; il est bien entendu qu'il faut en même temps perdre 18 m³ de gaz.

Avec les 350 kg de lest du modèle 1904, et à plus forte raison avec les 75 0/0 de plus dont on disposera en 1905, d'une part, et avec ce ventilateur puissant d'autre part, on peut faire faire au dirigeable des ascensions d'altitude, et, vous le voyez de suite, les deux faits que je viens d'indiquer sont des plus précieux pour les applications militaires.

Les autres accessoires de l'enveloppe sont les suivants: d'abord 5 soupapes de 300 mm de diamètre; l'une, supérieure, ne peut s'ouvrir que du dehors vers le dedans, et sous la traction d'une corde qui traverse tout le ballon pour aboutir à la nacelle; cette soupape ne sert qu'à vider le ballon, et ne doit être manœuvrée qu'à terre, ou en l'air, dans des cas extraordinaires qui ne se sont jamais produits.

Deux soupapes à gaz sont placées sous le ballon; elles s'ouvrent du dedans au dehors, soit à la main, par la manœuvre de cordes aboutissant à la nacelle, soit automatiquement, à la pression de 50 mm d'eau, que l'enveloppe est capable de supporter, et si, pour une raison ou une autre, l'aéronaute ne les a pas ouvertes avant.

Les deux autres soupapes servent à évacuer l'air du ballonnet; elles sont également manœuvrables à main, et automatiques pour une pression de 30 mm d'eau.

La pression intérieure de l'aérostat est indiquée à l'aéronaute par trois manomètres, un enregistreur, un métallique à cadran à grandes divisions et un manomètre à eau, moins facile à lire, mais indéréglable, qu'on ne consulte que pour vérifier les précédents, si on a quelque raison de croire qu'ils ont pu se déranger.

Deux regards de verre, enchâssés dans des cercles d'aluminium, à joints de caoutchouc, sont ménagés à droite et à gauche du ballon, en face d'échelles fixées au hangar ; ils permettent, après les ascensions, d'examiner la forme prise par le ballonnet ; de s'assurer, après le ravitaillement, qu'il a été complètement vidé, etc.

### Précautions.

La fabrication de l'enveloppe, et la pose de ses accessoires doivent être faites avec le plus grand soin. Par exemple, pour lui assurer une grande pureté de lignes, il est intéressant que les panneaux pareils soient découpés non seulement sur le même patron, mais encore qu'ils soient sciés ensemble, sur une machine à couper les étoffes. Il est intéressant aussi que les coutures soient faites par une seule et même personne ; il lui passe ainsi plusieurs kilomètres de couture dans les mains, et on la décharge de la partie la plus fatigante de cette besogne en commandant électriquement la machine à coudre, qui reste d'ailleurs mobile, déplaçable, et en donnant assez d'aides pour remuer à temps, et avec précautions, les plis de l'enveloppe dont le poids atteint près de 600 kg vers la fin de la confection.

Le collage des bandes sur les coutures est assez long et assez délicat, mais il peut être fait par un grand nombre de personnes à la fois.

Quand l'enveloppe est terminée, on la gonfle à l'air, avec le ventilateur, et on fait entrer à l'intérieur une équipe qui signale et marque les moindres piqûres, les moindres défauts ; on les bouche avec des rondelles d'étoffe et de la dissolution de caoutchouc.

Le gonflement nécessite aussi des précautions spéciales : si on se contente de faire entrer le gaz dans l'enveloppe aplatie préalablement, le gaz cherche tout de suite à monter le plus haut possible ; il soulève exagérément la partie supérieure de l'enveloppe, et entraine la partie inférieure avec lui, en lui faisant prendre des formes concaves ; il y a alors une dépression, nécessaire au soulèvement du poids de la partie inférieure, et il rentre de l'air par les quelques fuites inévitables que présente une surface de plus de 1 200 mètres.

On évite l'inconvénient que je viens de signaler en recouvrant l'étoffe d'un filet, ce qui permet d'effectuer le gonflement

sous pression. S'il y a des fuites, elles laissent sortir du gaz, et la muronine permet de les trouver et de les boucher; si elles restent inaperçues, elles n'introduisent pas d'air dans le gaz.

Dans le même ordre d'idées, il est intéressant de maintenir le ballon sous pression, jour et nuit, pendant toute la durée d'une même campagne.

On est récompensé de l'ensemble de ces précautions par ce fait que le ballon peut rester gonflé très longtemps sans consommer beaucoup de gaz, et sans perdre de sa force ascensionnelle.

C'est ainsi que la dernière campagne s'est terminée en décembre 1904, après 82 jours, avec un ballon toujours capable d'enlever quatre personnes et 300 kg de lest, et avec des ravitaillements presque limités au remplacement du gaz expulsé, au cours des nombreuses ascensions de cette campagne, pour les besoins des manœuvres, car la fuite en cours d'ascension est absolument insignifiante.

### Organes de stabilisation et de direction

Le ballon allongé étant décrit et construit, il faut le *diriger*: diriger veut dire non seulement lui imprimer les changements de direction qu'on désire, ce qui est relativement facile, mais surtout lui interdire les *variations* de direction anormales, ce qui est beaucoup plus difficile.

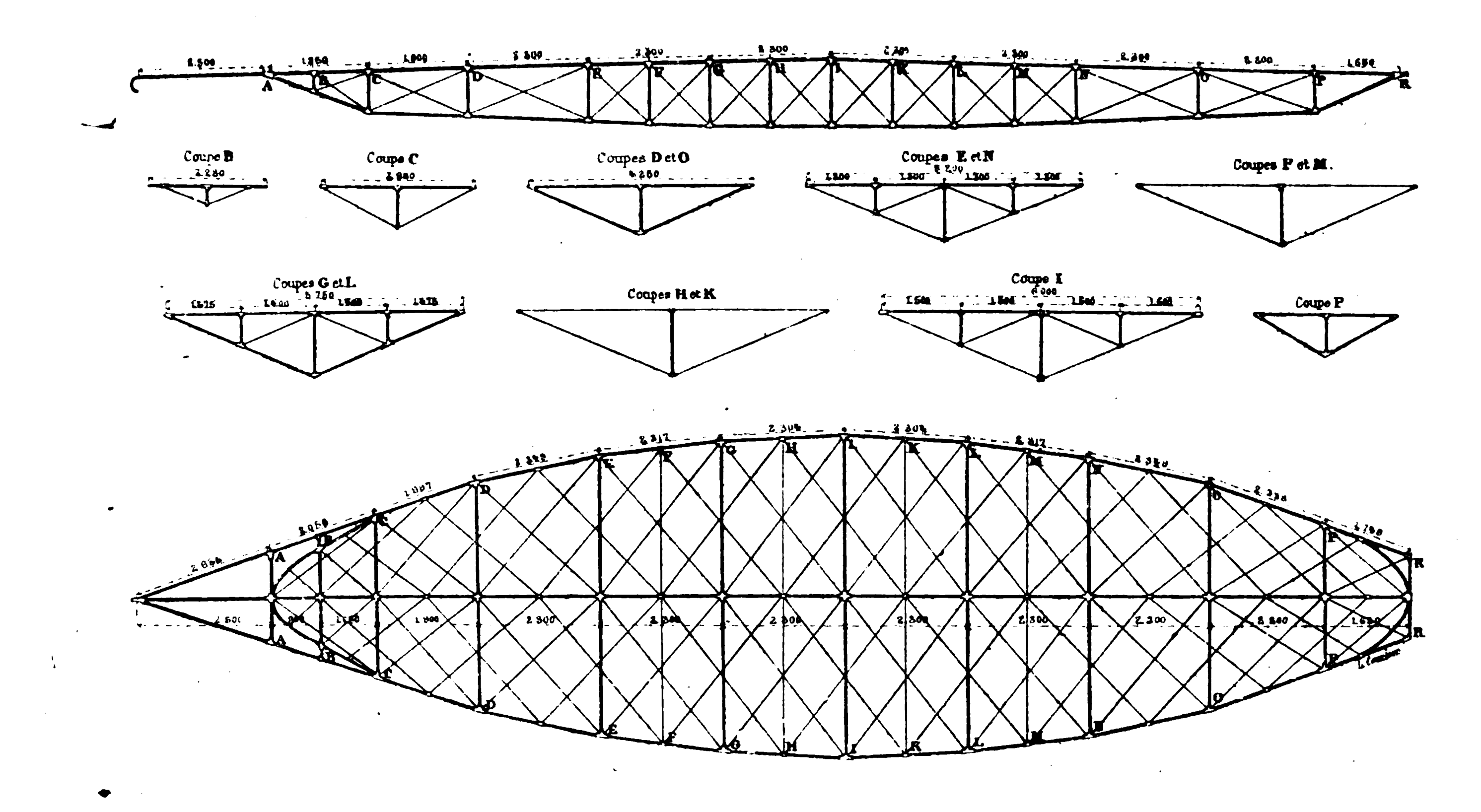
Autrement dit, il faut non seulement diriger, mais aussi *stabiliser* le ballon ; ce ballon est un corps long, couché, équilibré, flottant non pas sur un niveau mais au sein même d'une masse fluide, essentiellement mouvante ; il faut donc l'empêcher de changer de direction tout seul, ou sous les plus légères influences extérieures ou intérieures.

Pour réaliser tout cela, le ballon est muni de quatre espèces de plans qui sont : d'abord des plans fixes, horizontaux et verticaux ; puis, des plans mobiles, les uns à génératrices horizontales, et le dernier vertical.

Les plans fixes horizontaux sont les principaux plans de stabilisation ; ils s'opposent au tangage du ballon, c'est-à-dire au plus important des mouvements à craindre ; ils s'opposent aussi un peuau roulis.

Les plans fixes verticaux s'opposent aussi au roulis, et surtout, c'est là leur rôle principal, aux variations inopinées de direction dans le plan horizontal ; on conçoit que le ballon, muni de plans

# CARCASSE CENTRALE 1905



horizontaux et verticaux croisés en forme de penne de flèche, file comme une flèche, c'est-à-dire que la direction de son axe, ou de la ligne de croisement des plans fixes, a tendance à rester, en tous sens, parallèle à la tangente à la trajectoire, trajectoire qui; de ce fait, ne subit plus que les variations voulues par le pilote : ces variations doivent alors être provoquées par des engins assez puissants.

Ces engins, ce sont les deux autres espèces de plans, les plans mobiles : le plan vertical mobile, c'est le gouvernail classique, placé assez loin en arrière, et de grandes dimensions, qui permet de faire tourner le ballon à volonté à droite ou à gauche.

Quant aux plans mobiles à génératrices horizontales et transversales, ils servent, en s'inclinant ou en se développant plus ou moins, à varier la direction de l'axe du ballon dans le plan vertical ; ils servent ainsi à faire monter le ballon sans jeter de lest, à le faire descendre sans perdre de gaz. Je dois indiquer tout de suite qu'ils ne doivent servir à cela que dans une mesure restreinte, sous peine de tomber dans le péril des appareils plus lourds que l'air. En effet, les quatre espèces de plans n'ont d'action qu'autant que le ballon propulse; si, pour une raison ou une autre on arrête le moteur, ou s'il s'arrête, ils n'ont plus aucune espèce d'action ; et si en se servant d'une façon exagérée des plans à génératrices horizontales, on était monté trop haut, l'arrêt du moteur pourrait produire une descente rapide dangereuse, une chute.

Voici maintenant comment les quatre sortes de plans sont disposés :

### Plans fixes horizontaux.

Les plans fixes horizontaux sont au nombre de trois : le premier, le plus grand, occupe le milieu du dessous du ballon, dont le ventre a été en quelque sorte coupé. Il a, de ce fait, une forme à peu près elliptique. Il est très étendu, et a 21,50 m de longueur sur 6,05 m de largeur, soit environ 98 m² de surface.

Le deuxième plan fait suite au précédent; c'est la première penne de flèche, d'autant plus efficace qu'elle est plus éloignée du milieu du ballon ; sa surface, qui est au total de 14 m², est plus importante à l'arrière que vers le milieu, ce qui rappelle la queue de l'oiseau.

Cette surface est *articulée* avec la précédente, et elle ne la continue donc pas forcément.

Il y a là une ressource précieuse à un double titre : d'abord, si on constate pendant les premiers essais que, grâce aux formes de la carène, le ballon, propulsé, présente une tendance constante, soit à monter, soit à descendre, il suffit, pour corriger cette tendance, de profiter de l'articulation pour régler les câbles d'attache et de suspension, entre deux essais, de manière à relever, ou au contraire à abaisser l'arrière du plan. D'autre part, les formes du ballon ne sont pas absolument immuables; quand, pour des raisons quelconques, la pression intérieure ne reste pas à 20 mm, le profil en long se modifie ; quand la pression augmente, le ballon s'allonge en quelque sorte sur son axe ; si elle diminue, au contraire, les extrémités avant et arrière tendent à se relever. l'extrémité avant est libre ; mais l'extrémité arrière est attachée à la flèche, et si celle-ci est articulée à sa jonction avec le grand plan, elle cède légèrement, et n'impose pas à l'étoffe des tractions exagérées.

Le troisième plan horizontal, auquel nos hommes ont donné le nom de papillon ou queue de pigeon, est établi tout à fait à l'arrière du ballon, dans l'axe de l'enveloppe ; c'est la deuxième penne de flèche ; il a 22 m de surface.

Les trois plans horizontaux donnent au dirigeable Lebaudy une excellente stabilité, une grande résistance au tangage. Des théories diverses ont été faites sur ces plans ; ils ont un effet qui est fonction de leur grandeur, de leur éloignement du milieu, de leur rapprochement de l'axe horizontal ; leur grandeur est fonction de la vitesse propre du ballon, de son allongement, de la position du centre de la force ascensionnelle ; elle est fonction du couple de la poussée des hélices et de la résistance à la propulsion du maître couple ; elle est fonction de la rapidité qu'on veut employer pour mettre les hélices en route, les arrêter, et de la rapidité des virages.

Il faut encore tenir compte, pour les établir, de ce fait que le rôle des trois plans n'est pas exactement le même ; celui du milieu a pour effet d'asseoir le ballon sur l'air, et il résiste surtout aux mouvements de tangage qui viennent de l'extérieur, des mouvements variés de l'atmosphère ; les deux autres résistent aux mouvements de tangage provenant du ballon lui-même et de ses organes moteurs, et ils augmentent, au contraire, l'action des causes extérieures.

Quelque grands que soient ces plans, ils ne peuvent empêcher absolument tout tangage ; ils ne peuvent surtout empêcher celui qui provient des causes extérieures.

Mais, avec les dimensions de ce modèle, les amplitudes sont faibles, le tangage n'est jamais assez fort pour mettre le moteur en péril par le trouble des niveaux de l'huile ou de l'essence ; il n'est pas assez fort pour faire éprouver des craintes à l'équipage, ni pour produire sur certaines suspensions des tractions exagérées ; enfin quand il se produit du tangage, il n'est pas persistant, le ballon reprend en quelques oscillations sa position normale, il ne propulse pas *cabré* et c'est là tout ce qu'il faut demander.

### Plans fixes verticaux.

Les plans fixes verticaux sont au nombre de trois comme les précédents ; le premier forme une arête sous la moitié arrière du plan elliptique horizontal : il a 10 m de surface ; le deuxième forme une croix avec le deuxième plan horizontal, et se continue en s'élargissant jusqu'à l'articulation du gouvernail vertical qu'il supporte : il a 10,50 m de surface. Quant au troisième, très petit, placé au-dessus et en dessous du papillon, il a surtout pour but d'aider à fixer et à armer celui-ci.

### Construction des plans fixes.

Les plans fixes sont constitués par des cadres en tubes d'acier au nickel, entretoisés par d'autres tubes et par des fils en acier de rayons de bicyclettes. Ces plans, se croisant, peuvent se consolider mutuellement par l'addition de tubes et fils transversaux formant de petites fermes ; l'ensemble ainsi formé est à la fois rigide et léger : ainsi, la grande carcasse elliptique complète, de 21,50 m de longueur, ne pèse que 290 kg.

Les tubes et les fils sont assemblés par des raccords d'acier fondu, alternativement filetés et brasés, de sorte que les plus grandes pièces peuvent se décomposer en éléments transportables de toutes façons, à dos d'hommes, en voitures, sur bateaux et même en chemin de fer.

Les surfaces des plans sont obtenues en tendant sur les cadres d'acier, deux lames de tissus de coton, et en les collant aux bords de façon que l'air ne s'introduise pas entre elles, et glisse sur les plans sans que les tubes et les fils enveloppés fassent obstacle à la propulsion.

Les tissus de la grande carcasse et de la première penne de flèche sont perméables et ignifugés ; ils retarderaient jusqu'à ce qu'ils soient carbonisés, le contact, avec le ballon, des flammes pouvant se produire autour du moteur ou de son échappement.

L'étoffe du papillon, qui est éloigné du moteur et exposé à la pluie est, au contraire, en étoffe imperméable, analogue à celle du ballon.

### Fixation de l'enveloppe sur les plans fixes.

Pour fixer les plans fixes et l'enveloppe, on fait porter à celle-ci des ourlets doubles cousus et collés, dans lesquels on insère des bâtonnets courts, qui n'ôtent rien de la flexibilité de l'ourlet. A ces bâtonnets s'attachent les mailles supérieures d'un petit fragment de filet, dont les mailles inférieures viennent s'attacher sur les bords du cadre elliptique, en écrasant le ventre du ballon sur la surface plane.

Cette attache, très solide, du ballon, plus ou moins mou, avec les plans rigides, a été critiquée sans raison d'ailleurs ; elle ne nous a jamais donné le moindre inconvénient et a, au contraire, achevé d'établir la solidarité de l'ensemble ; bien entendu, il est impossible à l'air de s'insinuer entre le ballon et le plan elliptique ; mais il entrait dans l'angle qui restait aux bords de ce plan, et y produisait des remous nuisibles à la propulsion. Il y a été remédié en tendant sur le filet une étoffe qui forme coupe-vent sous la pointe du ballon, et qui se prolonge jusqu'au maître couple ; elle est attachée, en haut, au ballon, en bas à une pointe articulée pour éviter les tiraillements excessifs.

### Plans mobiles horizontaux.

Les plans mobiles horizontaux sont composés, d'abord, de deux plans déroulables, comme des stores, qui peuvent se développer à volonté depuis la troisième ferme de la carcasse, le long d'un cadre biais. Leur développement a pour effet de relever l'avant du ballon, et de produire certaine ascension, sans jet de lest, si le ballon est propulsé.

Ils sont manœuvrés ensemble par un volant à cliquets placé sur la gauche et en avant de la nacelle. Ils ont ensemble une surface maximum de 9,50 m.

Puis il y avait, au début, un plan en forme de queue d'hiron-

delle, articulé à l'arrière de la carcasse elliptique, dont l'abaissement provoquait le relèvement de l'arrière du ballon, qui descendait alors sans perdre de gaz.

Ce plan a été remplacé par deux autres n'ayant chacun que 3,40 m² de surface, mais placés à l'extrémité de la première penne de flèche, et qui doivent à cette position une grande efficacité ; ils forment, à l'état de repos, un V couché, ou coin stabilisateur, qui s'oppose au tangage au même titre que les plans horizontaux fixes. De plus, si on les manœuvre ensemble, en les abaissant ou en les relevant, on provoque une descente ou une ascension de l'ensemble du dirigeable; on peut encore, en les manœuvrant opportunément, éviter un mouvement de tangage prévu d'avance ; c'est ce qui se passe chaque fois que le ballon vire; il a tendance dans les virages, à abaisser sa pointe d'avant: si, au même moment, on relève ensemble les deux plans du V, cet abaissement est évité, et le virage se fait sans aucun mouvement oscillatoire.

PLAN MOBILE VERTICAL.

La quatrième espèce de plans est représentée par le gouvernail classique, vertical, à axe vertical ou presque; il est placé à l'extrémité de la première penne de flèche; il a **12,75 m²** de surface ; il suffit de mouvements de faible amplitude (nous avons dû les limiter), pour produire un virage très rapide. Le gouvernail est formé, comme toujours, d'un cadre de tubes entretoisés et recouverts d'une double étoffe tendue. Il est manœuvré par deux câbles d'acier aboutissant d'une part à une béquille fixée au centre du gouvernail et reliée à ses angles. D'autre part, les câbles aboutissent à une chaîne de bicyclette commandée par engrenages, et par un volant d'aluminium à cliquets d'arrêt, placé sous la main du pilote ; la chaîne, qui peut casser, est doublée de deux cordes qui la remplaceraient au besoin ; l'axe du gouvernail est légèrement incliné vers l'arrière, de façon que le plan mobile se place de lui-même dans l'axe du ballon, si sa commande, qui supporte de gros efforts, venait à casser; on pourrait alors continuer à gouverner, dans de moins bonnes conditions, mais encore, avec les hélices.

Le gouvernail vertical a été placé de façon à n'agir directement, ni sur le ballon qui est trop mou, ni sur la nacelle qui est trop basse, mais sur l'ensemble des deux premiers plans fixes

horizontaux, qui présentent, précisément dans le sens horizontal, un grande raideur, et qui sont bien placés pour entraîner, à la fois, le ballon et la nacelle, dans un mouvement de virage.

### Propulsion.

Maintenant que nous possédons un ballon rigide, stable, et gouvernable, il reste à le propulser, et, pour cela, à le doter d'un système propulseur essentiellement composé d'un moteur, de transmissions, et d'hélices.

Le moteur doit être à *essence;* c'est ce qui se fait actuellement de plus léger à la fois comme masse à installer, et comme matière à consommer; il faut, pour le moment au moins, rejeter les combinaisons à vapeur, à air comprimé, à électricité, à explosifs.

Le propulseur le meilleur est l'hélice; toutes les combinaisons d'ailes battantes, à mouvements alternatifs, rappelant plus ou moins la nature, ne valent rien, et si la nature pouvait donner à un organe un mouvement de rotation continue sans broyer les veines, les nerfs et les fibres musculaires en deux ou trois tours, il est probable que les animaux auraient des roues et les oiseaux des hélices.

### Moteur.

Le moteur adopté est bien connu : c'est un « Mercédès », de 30 poncelets à quatre temps, à quatre cylindres, de 115 d'alésage et 140 de course, soupapes d'admission commandées, allumage par magnéto ; radiateur à nids d'abeilles ne contenant que 13 kg d'eau qu'il est inutile de renouveler; nous avons mis ce radiateur dans l'axe du moteur pour le traverser par une des extrémités de l'arbre portant un embrayage ; l'autre extrémité porte aussi un embrayage et un léger volant; le radiateur est ventilé, et n'attend pas qu'il y ait propulsion pour refroidir ; cela permet de faire tourner le moteur à blanc tant qu'on veut, et aussi de le mettre en travers, ce qui soustrait le graissage des têtes de bielles aux inconvénients du tangage, sans qu'il soit nécessaire de cloisonner le carter ; il y a un graissage automatique général ; un carburateur à réglage permet de faire varier la vitesse du moteur de 250 à 1 200 tours par minute, la vitesse normale étant de 1 000 tours. Les deux extrémités de l'arbre portant chacune un embrayage, la manivelle de démarrage doit commander le mo-

teur par un renvoi. Un compteur enregistre les nombres de tours et un tachymètre indique la vitesse, au mécanicien, à tout instant.

Toutes les parties du moteur sont restées visibles et accessibles; un pot d'échappement empêche les aéronautes de subir un bruit exagéré; il est fusiforme, et placé sous la nacelle et vers l'arrière, loin de toute sortie possible d'hydrogène. Toutes les parties de l'échappement sont couvertes par un tunnel en amiante et aluminium qui ne l'empêche pas de se refroidir, mais empêche l'essence de tomber dessus et de s'enflammer; enfin, l'échappement se fait par une boule de toile métallique qui, en cas de ratés, éteint les langues de flammes toujours alarmantes sous un ballon.

Le réservoir d'essence est aussi placé *sous* la nacelle, et sous le moteur, pour éviter, en cas de fuite, la chute d'essence sur les parties chaudes. Deux extincteurs suffiraient probablement à disperser l'essence enflammée s'il en sortait du carburateur, car la nacelle n'a pas un fond étanche complet. L'essence monte du réservoir au moteur, sous la pression de l'échappement, par un tuyau flexible, en cor de chasse; l'échappement remplit petit à petit le réservoir de produits de combustion privés de comburant. Le réservoir plein, tient 220 l, c'est-à-dire 11 heures de marche, mais nous n'avons jamais emporté plus de 7 heures ou 140 l.

Ce réservoir, fusiforme pour diminuer sa résistance à la propulsion, a lui-même l'aspect d'un petit ballon, et on peut dire que tout notre art a consisté à faire porter le petit par le gros, et à appliquer l'énergie du petit à propulser le gros.

Il est absolument inutile de chercher à récolter et condenser partiellement les produits de la combustion de l'essence, la dépense de 20 l ou 14 kg étant toujours inférieure à la dépense de lest que les variations atmosphériques obligent à faire chaque heure.

### Hélices.

Les hélices, au nombre de deux, sont placées symétriquement, à droite et à gauche du milieu du ballon, et tournent aussi symétriquement en sens contraire l'une de l'autre. Cette disposition est essentielle; une seule hélice, placée en avant de la nacelle, refoule l'air sur elle, et perd ainsi une partie de son effet de propulsion; une seule hélice, placée en arrière, aspire l'air, déjà agité par des

remous, qui est dans le sillage de la nacelle. De plus, une seule hélice tournant dans un sens déterminé, produit des effets inattendus de *roulis* et aussi des effets de tangage et de *giration* accrus par la longueur habituellement donnée aux nacelles. Avec la disposition adoptée, les hélices aspirent et refoulent l'air sans obstacles, c'est-à-dire avec un bon rendement, et tous les efforts secondaires étant symétriques, s'annulent les uns les autres.

Les hélices sont à marche relativement rapide, c'est-à-dire qu'elles font 1 000 tours par minute, comme le moteur; je suis personnellement d'avis que dans l'air, fluide léger et compressible, et animé, en général, de mouvements internes variés, *il faut* faire tourner les hélices à des vitesses que nous considérons encore comme grandes, et les théories qui concluent à la marche lente ne tiennent pas compte de toutes les circonstances.

Les hélices sont à deux branches, ce qui est commode pour la construction, sans cela, une branche suffirait; elles sont en tôles d'acier spécial, minces et lisses, dressées sur marbre métallique; elles sont fixées sur un manche d'acier au nickel, tubulaire vers le centre, aplati vers les ailes, de manière à s'effacer derrière elles pendant la rotation, et à produire le minimum de remous.

Chaque branche est une fraction de surface hélicoïdale pure, du pas de 1,500 m, comprise entre deux circonférences de 0,500 m et 2,440 m de diamètre, et entre deux rayons écartés de 1/16e de circonférence; on peut, entre les ascensions, faire varier le pas effectif des branches, dont les manches sont reliés par un écrou d'acier à contre-écrous.

Les meilleurs résultats ont été obtenus en donnant à l'un des angles extérieurs une avance de 40 mm sur l'autre; dans ce cas, et en faisant faire, ce qui est fréquent, un peu plus de 1 000 tours par minute aux hélices, soit 1 030 tours, la vitesse d'avancement du bord extérieur des branches est égale et contraire à celle du ballon, 11 m par seconde, et, *en marche*, les molécules d'air de la surface extérieure du cylindre refoulé par les hélices ne bougent pas; la vitesse de ces molécules naît et va progressivement en croissant à partir de ce point pour atteindre sa valeur maximum à l'œil de l'hélice, où le pas primitif de 1,50 m se trouve peu modifié, puisqu'il est encore de 1,316 m. Il n'y a donc pas de recul, soit pas de frottement violent, ni de déchiquetage à la surface du cylindre d'air refoulé. Les molécules d'air ne sont pas

non plus projetées extérieurement à ce cylindre par la force centrifuge, ce qui se vérifie par l'absence de projection d'huile, et par ce fait que, dans la nacelle, entre les hélices, on ne sent pas autre chose que le choc de l'air dans lequel on avance.

C'est ainsi que nous avons obtenu les meilleurs résultats, non pas au point fixe, mais en cours de propulsion. Dans ces conditions, la vitesse *propre* du ballon est de **11** m par seconde, ou presque **40** km à l'heure; nous avons même trouvé, une fois où la vitesse du moteur et des hélices avait été forcée, **11**,80 m.

Avec 40 km à l'heure, le ballon peut sortir théoriquement soixante-quinze fois sur cent, ou, pratiquement, une fois sur deux, ce qui est suffisant pour un grand nombre d'applications pratiques.

### Transmissions.

Les transmissions entre le moteur et les hélices ont été faites aussi simples que possible, et, à cet effet, l'axe des hélices a été placé à la hauteur de celui du moteur, c'est-à-dire à quelques centimètres seulement du fond de la nacelle. Cette place convient pour ce modèle, mais ce n'est pas la meilleure; dans le brevet, nous avons rapproché les axes des hélices de celui du ballon, de manière à diminuer le couple, et c'est ce qu'il faudra faire pour les ballons plus puissants et plus rapides encore que nous étudions.

Les transmissions se composent chacune d'un arbre creux, en acier au nickel, aussi court que possible, qui tourne sur billes dans un fourreau fixe; il est raccordé avec l'embrayage du côté du moteur par un manchon à griffes qui permet, à la rigueur, un léger déplacement de l'axe de l'arbre.

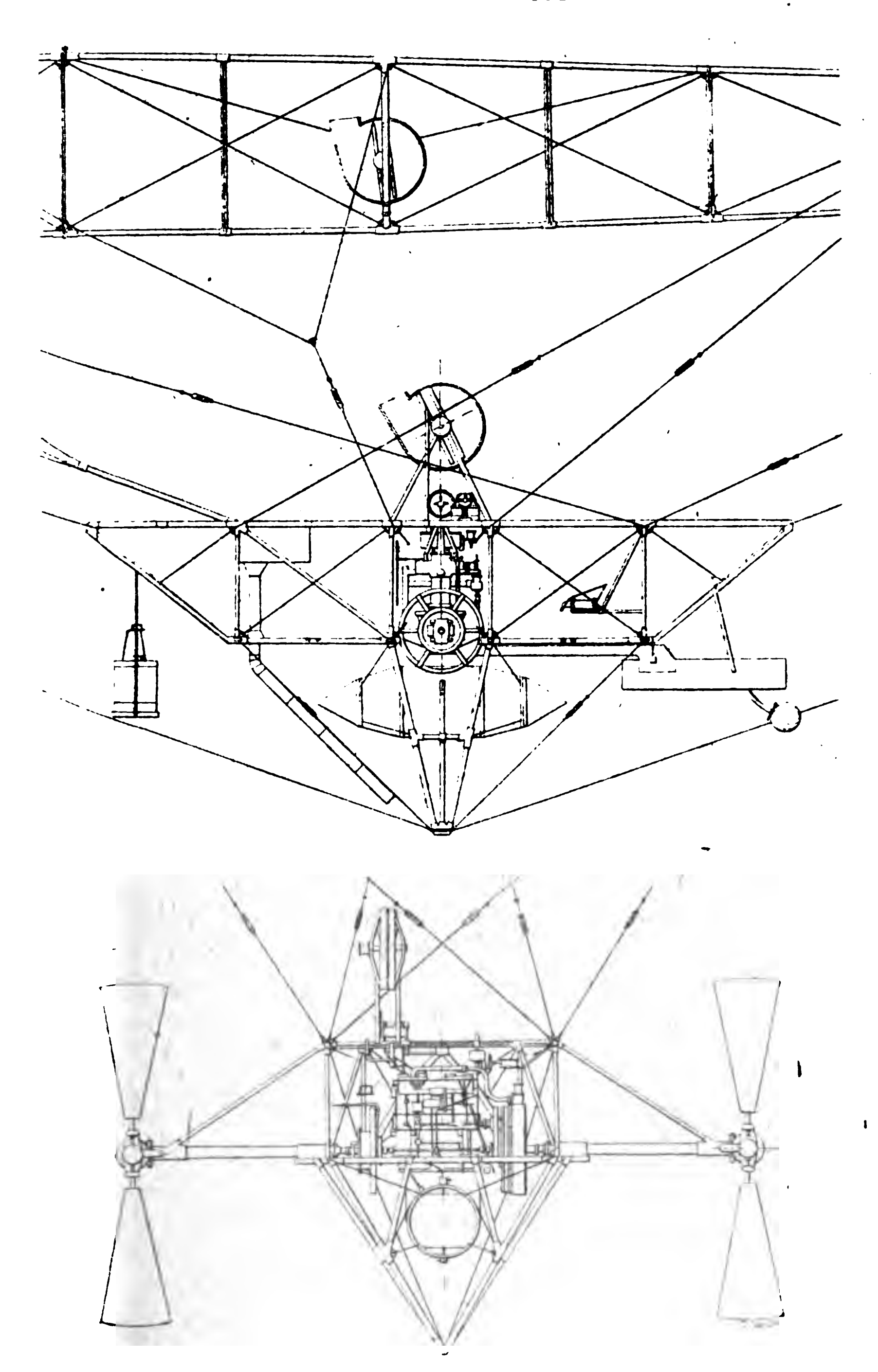
Du côté de l'hélice, l'arbre porte une paire de roues d'angle, égales, taillées à la machine dans des blocs d'acier au chrome et au nickel, et enveloppées dans un carter rempli de graisse; le petit tronçon d'arbre, qui porte à la fois la deuxième roue d'angle et le manche de l'hélice, roule et *bute* sur des billes.

### Nacelle et suspension.

Il nous reste maintenant à loger l'ensemble propulseur que nous venons de décrire dans une nacelle, et à relier le tout au ballon.

Comme celui-ci, par la construction de ses plans fixes, a déjà

NACELLE MODÈLE 1904



sous lui une armature, il est absolument inutile de faire une nacelle allongée, et il suffit de lui donner les dimensions convenables pour le moteur et les aéronautes.

La nacelle a donc la forme d'un petit bateau à fond plat, avec les deux pointes relevées, de 1,600 m de largeur, 4,800 m de longueur, et 0,800 m de hauteur. Entre les deux pointes, elle est divisée en trois compartiments à peu près rectangulaires; celui du milieu est réservé au moteur, celui d'avant à l'aéronaute, celui d'arrière au mécanicien; chacun de ces deux derniers compartiments peut recevoir deux personnes, et même trois au besoin, et il y a eu ascension de six personnes à la fois.

La pointe d'avant et le premier compartiment sont seuls garnis, et, à part une tôle pleine au droit de l'hélice, les compartiments d'arrière ne reçoivent que du grillage, de sorte que l'air entré dans la nacelle en ressort facilement.

La nacelle est construite en tubes d'acier au nickel, de 30 à 45 mm, en fils d'acier, et raccords d'acier fondu, tous brasés sans filetages, parce que la nacelle passe dans les gabarits des chemins de fer. Le cadre inférieur et les traverses qui portent le moteur sont en cornières d'acier de 45-45-5.

La nacelle constitue une poutre chargée au milieu, et consolidée à cet endroit par des tubes formant une pyramide, dont le sommet est relié par des tirants aux pointes avant et arrière.

La pointe de la pyramide est plus basse que les hélices quand elles sont verticales; c'est elle qui touche le sol aux atterrissages, quand quelque chose touche, car souvent l'atterrissage se fait mollement, et les hommes qui reçoivent le ballon l'arrêtent avant qu'il ait touché le sol.

En tout cas, le ballon ne verse pas, ou ne se couche pas sur cette pointe quand elle touche, et si personne ne l'arrête, il file sous le vent en labourant de temps à autre le sol avec cette pointe, sans qu'il se produise d'avaries.

La nacelle est suspendue, d'une façon particulière, aux poutres qui composent les plans. Cette suspension est faite par des plans de câbles d'acier, peu extensibles, munis de tendeurs contre la rupture desquels on est garanti par des centennes de fil d'acier. Dans chaque plan, les câbles (pas des fils, des câbles) se croisent, en réunissant les bords de la nacelle aux bords et au centre de la carcasse elliptique; ils forment des triangles indéformables.

De plus, dans l'un des plans d'avant, les câbles sont rempla-

cés par des tubes qui forment un panneau rigide articulé à ses deux extrémités, avec le plan elliptique, et avec la nacelle; on l'appelle cadre de poussée; à cet endroit, en effet, l'action des hélices se transmet en poussée, et en déduction de la traction opérée sur les câbles par le poids de la nacelle; si, selon la façon dont les tensions sont réglées, la différence devenait négative, les câbles prendraient du mou, et le ballon serait mal propulsé; de plus, la rigidité du cadre est favorable à la solidarité des différentes parties de l'appareil pendant les virages; il sert aussi à développer les plans déroulables, enfin, si le ballon se déchire, ce qui est arrivé une fois, ce cadre maintient les carcasses audessus de la nacelle, et préserve les aéronautes du choc des carcasses et de l'ensevelissement dans les plis du ballon, plis plus ou moins remplis de gaz.

La suspension, composée de câbles triangulés et du cadre de poussée, est absolument rigide et indéformable en l'air, où l'appareil ne forme qu'un bloc, ce qui est indispensable.

### Accessoires de la nacelle.

Il reste, pour terminer la description du dirigeable, à énumérer les divers accessoires qu'emporte la nacelle; ils sont nombreux, ce qui nous a été facile, parce que nous avons toujours fait le ballon assez gros pour qu'il y ait une bonne marge entre la force ascensionnelle et le poids qu'il est absolument indispensable d'enlever.

Quand on est dans la nacelle, on voit d'abord, à portée de la main de l'aéronaute et de son aide :

Le volant du gouvernail;
Le volant des plans déroulables;
La poignée du V couché d'arrière;
Les poignées des cordes des cinq soupapes;
L'embrayage du ventilateur et la cordelette de manœuvre d'un clapet de réglage du ventilateur;
La manivelle de mise en marche du moteur;
Les poignées d'embrayage des deux hélices;
Les trois manomètres indiquant la pression intérieure du ballon;
Deux baromètres d'altitude, dont un enregistreur;
Un anémomètre à compteur;

Un compteur de tours et un tachymètre;

Une montre;

Un thermomètre;

Un statoscope;

Une carte, placée sur un support tournant, ce qui permet de l'orienter comme le sol qu'elle reproduit, de telle sorte qu'on peut la quitter des yeux bien plus longtemps que quand on la suit à terre, sur une route;

Une jumelle;

Une trompe, un porte-voix et un sifflet;

Des quantités de sacs de lest, de poids réglés, et placés de manière qu'on puisse les compter d'un coup d'œil;

Un entonnoir et un tuyau descendant sous la nacelle permettent à l'aéronaute de jeter ce lest sans qu'il tombe dans le moteur;

Deux trapèzes fixes, attachés par des fils triangulés, que nous devons à M. de Fonvielle, permettent aux aéronautes de se recevoir par la traction des bras et non par choc sur les jambes, si la nacelle touchait trop violemment le sol; ils ont servi quelquefois.

Il y a encore :

Deux extincteurs;

Une réserve d'huile;

Une réserve d'eau;

Une cage à pigeons;

Une boite d'outils et de pièces de rechange, etc.

A l'avant, la nacelle porte, dans le jour, un appareil photographique, qui nous a été prêté par M. Gaumont, et qui est, à volonté, automatique et périodique, ou manœuvrable à la main; qui peut se placer à volonté verticalement ou incliné.

Le ballon a été organisé pour marcher la nuit, et pour cela, il a été muni d'un éclairage à trois degrés : l'aéronaute et le mécanicien portent des lampes électriques de poche, qui leur permettent d'examiner une pièce en détail; une petite dynamo, mue par le moteur, éclaire des lampes de 10 à 100 bougies, qui permettent de distinguer l'ensemble des agrès: enfin, de nuit, l'appareil photographique est remplacé par un phare à acétylène dissous, de 1 million de bougies; il permet de voir les obstacles, collines ou monuments, sur lesquels on pourrait se jeter quand on est près de terre; il permet aussi d'explorer

telle ou telle partie du sol, etc. Cet appareil peut s'éteindre ou se mettre en veilleuse quand les aéronautes n'en ont pas besoin ou ne veulent pas se faire voir; il forme, avec ses réservoirs d'acétylène et d'oxygène, un ensemble autonome, qui peut se jeter en coupant une cordelette s'il donne le moindre signe de dérangement.

La nacelle porte les engins d'arrêt, l'ancre, deux guide-ropes et un serpent; l'ancre est amarrée à la pointe avant de la carcasse par une courte corde; elle n'a jamais servi; elle pourrait arrêter le ballon, pointe au vent, s'il était désemparé et devenu d'une façon irrémédiable le jouet du vent dans un endroit désert.

Les deux guide-ropes, ou grandes cordes, ne sont jamais à la traine, c'est-à-dire qu'ils sont toujours enroulés en cours d'ascension; on en jette un ou deux, à terre, au moment de l'atterrissage, pour que les gens qui voient arriver le ballon aient une prise pour l'amener au sol.

Le serpent est un guide-rope très court (7 m) et très lourd (50 kg) amarré au bout d'une corde de 50 m; on le jette à l'atterrissage lorsqu'on n'est pas sûr que les gens de terre pourront prendre le ballon à temps; il stabilise le ballon à une quarantaine de mètres du sol, et on peut se laisser aller au vent jusqu'à ce que le moteur soit remis en route sans craindre de heurter des arbres ou des maisons; le dirigeable ne l'avait pas encore le jour où il a été déchiré à Chalais.

Il y a dans la nacelle des piquets d'arrêt, tubes pointus qui permettent de fixer l'appareil au sol et de le camper après l'atterrissage dans le cas de voyage par escales sans abris.

Enfin, le dirigeable porte un dernier objet, c'est le drapeau, le drapeau français, qui a été posé le jour de la première ascension, et qui, depuis, a fait toutes les autres, et nous souhaitons qu'il en fasse encore beaucoup d'autres.

## Description du garage habituel du dirigeable.

MM. Paul et Pierre Lebaudy ont fait construire tout un aérodrome dans une de leurs propriétés, située à Moisson, petite commune de l'arrondissement de Mantes, à une soixantaine de kilomètres de Paris.

Dans une boucle de la Seine, loin de toute foule, se trouve une

grande plaine avec quelques sapins entre lesquels se dessine une sorte de cirque de plusieurs kilomètres, sans autres obstacles que ceux que nous y avons mis nous-mêmes.

Un hangar a été construit au milieu; il a 60 m de longueur, 14 m de hauteur, et 12 m de largeur; il est en charpente et planches, et couvert de papier bitumé, de caractère d'abord un peu provisoire, comme il convenait pour un essai qui aurait pu ne pas réussir. Cependant, pour empêcher le vent de prendre, au milieu de cette plaine découverte, une revanche qu'il a failli d'ailleurs trouver déjà plusieurs fois, nous avons donné au hangar un socle de maçonnerie de 3,50 m de hauteur, qui encastre et raidit tous les poteaux, et nous l'avons largement haubané de câbles d'acier croisés; des châssis vitrés éclairent le bas seulement; en haut, ils risqueraient, lorsque le vent fait osciller toute la construction, de laisser tomber des morceaux de verre sur la peau du ballon.

Deux lanterneaux permettent l'évacuation du gaz; une pointe du hangar porte un anémomètre à enregistreur, l'autre une girouette paratonnerre, plus ou moins efficace à ce dernier point de vue.

L'axe du hangar s'est trouvé sans qu'on le fasse exprès, orienté dans la direction de Paris; le pignon d'arrière est complètement clos.

Le pignon d'avant est muni d'une porte à coulisse en deux parties, qui roulent sur galets, et vont se ranger sur deux charpentes extérieures; les portes au repos, et les deux charpentes doivent être contreventées et haubanées avec le plus grand soin.

Le hangar est en même temps une *cale*; c'est-à-dire que, pour le faire moins haut et moins exposé au vent, une partie de la hauteur occupée par le dirigeable est en dessous du sol; le sol a été cimenté.

Deux grandes fosses, ou cuvettes, ont été ménagées au centre du hangar et à moitié longueur à l'extérieur; c'est dans ces fosses que se font le montage et les essais à blanc de la partie mécanique.

Les bois du hangar ont été ignifugés, et on y a disposé des extincteurs.

Des fers formant rainures ont été scellés au fond de la cale et sur les bords du sol du hangar; ils servent à sortir le ballon quand il fait beaucoup de vent, sans craindre que les hommes

soient entraînés et le laissent se déchirer sur les bords de la porte.

Autour du hangar, et à des distances convenables pour éviter une propagation d'incendie, sont venus se placer une foule d'accessoires; ce sont :

La loge du gardien, ancien bureau de distribution de billets de l'Exposition de 1900;

La forge;

La station d'énergie, composée d'une locomobile, et d'une dynamo à courant continu, pour force et lumière;

Une petite construction abritant l'appareil à gaz;

Une fosse pour l'évacuation des eaux mères;

Un puits avec pompe à moteur électrique, ce qui a permis de le placer loin de la fosse précédente.

Un pigeonnier, d'abord placé près du hangar, a été ensuite monté plus loin, car, d'une part, les oiseaux et le gaz font mauvais ménage; et d'autre part, les graines attiraient des rongeurs dont l'un, un mulot, a fait toute une ascension juché sur le dessus du papillon.

Dans les fermes de contreventement du hangar, on a logé des bureaux, un laboratoire, des magasins, des ateliers de couturières et de cordiers, une remise, une écurie où, à l'occasion voisinent chevaux et bicyclettes, voitures et automobiles.

La dynamo a permis d'éclairer le tout à l'électricité, intérieurement et extérieurement pour les sorties de nuit, et pour les visites et travaux de nuit.

La locomobile permet de chauffer en hiver et d'empêcher la gelée et la neige de tout arrêter. Un téléphone et un facteur qui apporte quelquefois les journaux de la veille, relient le personnel au monde civilisé.

Un petit captif de 30 m³ a été installé à quelque distance du hangar, avec un treuil; son câble, qui a 500 m, part du centre d'un double cadran horizontal et vertical avec lequel on peut juger de la direction et de la vitesse du vent entre le sol et 400 à 450 m; ces cadrans sont organisés pour faire, sur le tas, une épure grossière et rapide, indiquant quel cap on doit donner au dirigeable, pour atteindre le plus rapidement possible un point donné. A cette occasion, il faut relever une erreur assez répandue; on croit que quand le vent est fort il faut louvoyer; il ne faut jamais le faire, un raisonnement très simple indique qu'il faut aller au but en droite ligne, et qu'il faut pour cela orienter

la pointe du ballon à droite, ou à gauche de ce but, et plus ou moins selon la direction et la vitesse du vent.

Les indications du captif sont complétées au besoin par le lancer de petits ballons sondes en papier, qui s'en vont porter au loin et plus ou moins vite, une carte qu'on nous renvoie généralement avec des indications d'intérêt rétrospectif.

On en lance quelquefois plusieurs ensemble, qui s'en vont plus ou moins de conserve.

Un sphérique ordinaire, construit par M. Juchmès, permet d'utiliser le gaz du dirigeable, quand, en fin de campagne, on procède au dégonflement; on fait alors des ascensions libres, auxquelles MM. Lebaudy ont pris part pour juger de la différence avec les ascensions qu'ils ont faites dans le dirigeable.

L'ensemble de l'aérodrome est complété par une fosse ou soute à essence isolée, par des massifs d'amarrage tout préparés, et un grillage qui enclôt le tout, grillage léger, qui ne doit pas être un obstacle à la rapidité des manœuvres de sortie et de rentrée du dirigeable.

Tout cela s'est ajouté petit à petit, au fur et à mesure des circonstances, mais n'est pas d'une nécessité absolue, et en cas de guerre, par exemple, un dirigeable arrivé à l'escale pourrait facilement camper dans le creux d'un vallon, ou mieux, dans un hangar ordinaire, manège ou autre, dont on aurait rapidement excavé le sol au milieu, à quelque distance des fondations latérales.

## Historique des ascensions et voyages du dirigeable.

*Année 1902*. — La première campagne d'essais a eu lieu en octobre et novembre 1902. Nous avons d'abord remonté et définitivement assemblé dans le hangar de Moisson les parties métalliques et la nacelle; nous les avons garnies des étoffes, des accessoires, puis le ballon a été gonflé. Lorsque tout a été prêt, nous avons procédé à des essais destinés à prouver, pendant que le ballon était encore à terre, que nos précautions contre l'incendie étaient suffisantes, puis, un beau jour, nous avons ouvert les portes du hangar et avec mille précautions, nous avons sorti le dirigeable.

Le ballon, amené sur la cuvette extérieure, a été tourné de

90 degrés; on l'a ensuite débarrassé de toutes ses cordes, sauf une, qui le retenait par la pointe inférieure de la nacelle. Nous avons constaté à ce moment que, malgré la dissymétrie des formes, la répartition des poids était bien faite, et que le ballon, libre d'entraves, restait horizontal; qu'il avait, au repos, un bon équilibre.

A ce moment, le ballon n'avait à l'arrière d'autre gouvernail que l'horizontal; il y avait un tube, plus ou moins arqué, servant d'intermédiaire aux attaches entre la nacelle et l'arrière de l'enveloppe.

Nous avons alors démarré le moteur, puis nous avons embrayé subitement et ensemble, mais seulement pendant quelques secondes, les deux hélices; immédiatement le ballon s'est jeté en avant, et, comme la corde qui le retenait était tendue, il s'est rapproché également du sol, mais sans pointer ni se cabrer; le plan horizontal jouait déjà son rôle stabilisateur, et la propulsion paraissait devoir être bonne.

La deuxième expérience a été la répétition de la première, mais le ballon, une fois sorti, a été conduit au milieu de la plaine et amarré à un massif de maçonnerie par une longue corde de 300 m qui lui permettait, en prenant du champ à distance du corps mort, de faire des évolutions de 800 à 900 m.

Nous étions presque tout de suite à bout de corde et nous avons constaté ainsi à nouveau, et sur une plus grande échelle, la puissance de propulsion et la stabilité de l'appareil. Le ballon virait aussi, en arrêtant une des hélices, mais trop lentement, et on arrivait souvent à bout de corde avant d'avoir terminé le demi-cercle; de plus, le ralentissement dans les virages pouvait mettre le ballon en affront devant le vent; d'où conclusion que les hélices, appareils de propulsion, devaient rester dans leur rôle, et qu'il était préférable de demander la direction dans le sens horizontal au gouvernail, d'ailleurs prévu avant ces essais; le dirigeable, déjà pourvu des trois premières espèces de plan, a donc été doté de la quatrième, c'est-à-dire du plan mobile vertical. On a fait pour cela un montage de fortune qui a consisté à poser à l'extrémité du tube d'arrière une croix dont le tube vertical est devenu l'axe du gouvernail, et dont le tube horizontal a permis aux cordes de manœuvre du gouvernail de l'attaquer de côté; ces deux cordes ont été ramenées sur des poulies à la nacelle, et nous avons refait des ascensions à la corde molle.

Cette fois, l'appareil était presque complet et virait facilement; nous tournions, pendant que les champs défilaient rapidement en dessous de nous, et que le moteur, confié aux soins de deux mécaniciens, ronflait régulièrement.

C'est dans ces essais que nous avons senti que la partie était gagnée.

Mais nous arrivions toujours trop vite au bout de la corde. Il en résultait les incidents les plus divers : la nacelle se penchait, ce qu'elle ne faisait pas quand la corde était molle; l'ensemble de l'appareil se rabattait près de terre, et les hélices rasaient consciencieusement deux ou trois arbres en couvrant la nacelle de débris de branches et de feuilles: ou bien l'immense arc formé par la corde balayait la plaine, renversant tout sur son passage, malgré les courses et les efforts de l'équipe de terre.

Nous résolûmes donc de nous débarrasser de la corde et de faire la première ascension libre; elle eut lieu, sans incident, et à la grande satisfaction de tous, le 13 novembre; le dirigeable fit, à notre volonté, des ronds, des huit; il alla se promener à Lavacourt et revint au hangar sans corde.

Nous eûmes ensuite le désir de voir nous-mêmes le dirigeable d'en bas et d'assister, en spectateurs, à ses évolutions.

M. Juchmès, aidé de M. Baudry, et comme nous de deux mécaniciens, prit donc la conduite de l'appareil et le manœuvra très bien à son tour. Le tube portant le gouvernail s'étant faussé, il put cependant faire atterrir le ballon, qu'il avait conduit au-dessus de la forêt, dans une clairière au bord de la plaine.

Le lendemain même nous mettions en mains la première penne de flèche de l'arrière, pour augmenter encore la stabilité déjà bonne, et supporter le gouvernail d'une façon sûre. Ce travail fut terminé dès le 1er décembre 1902.

Mais nous ne pûmes en faire l'essai cette année même; une tentative de sortie faite le 7 décembre resta infructueuse; il gelait à 11 degrés au-dessous de zéro; nous nous étions couverts comme des Esquimaux, mais nous n'avions pas pris toutes les précautions voulues et le moteur ne voulut jamais démarrer.

MM. Lebaudy, très heureux du succès enregistré le 13 novembre, nous donnèrent alors l'ordre de suspendre les expériences jusqu'au printemps prochain et l'hiver fut mis à profit pour exécuter une foule de petites améliorations.

Dans l'*année 1903*, le dirigeable a fait trois campagnes, dont toutes les ascensions, libres, et au nombre de vingt-sept, ont été

conduites par M. Juchmès, comme aéronaute, assisté de M. Rey comme mécanicien, et d'aides variés.

La première campagne compte neuf ascensions, heureuses et, par conséquent, la plupart sans histoire, mais d'un grand intérêt technique, au cours desquelles ont été faites les premières constatations précises.

Parmi les neuf ascensions de la première campagne, il faut signaler celle du 1er avril qui eut lieu malgré la pluie; la pluie n'est d'aucune gêne pour les aéronautes ou pour le mécanisme qui sont abrités; elle alourdit le ballon et contracte le gaz par refroidissement; nous avons obvié facilement à la chute de pression, qui aurait rendu le ballon flasque par le jeu du ventilateur, et à l'alourdissement en jetant du lest.

C'est aussi dans cette campagne que, le 15 mai, une déchirure de la çoquille du ventilateur (réparé et réessayé en l'air le 22) obligea les aéronautes, qui revenaient du château de Rosny, à descendre dans la plaine de Sandrancourt; cette journée fut une des plus intéressantes et des plus pittoresques; elle permit de vérifier la solidité de la construction de l'appareil qui put être amarré longtemps au sol, puis sur une péniche, et traverser la Seine sans souffrir du vent devenu pourtant assez violent.

Mais il faut surtout signaler l'ascension du 8 mai, dans laquelle M. Juchmès fit le premier grand voyage qu'ait fait un dirigeable, en allant de Moisson à Mantes, revenant au château de Rosny, puis à Moisson.

Voici le rapport que l'aéronaute faisait de ce voyage :

« Je suis parti avec le mécanicien Rey et seulement 120 kg de lest, la pluie ayant alourdi le ballon de 90 kg; les hélices tournaient d'abord à 800 tours; nous sommes allés à Saint-Martin-la-Garenne, Dennemont, Gassicourt, Mantes, entrant sur la ville par le côté ouest, faisant le tour de la cathédrale, passant au-dessus de Limay, revenant ensuite sur la gare de Mantes.

» A partir de cet endroit, le vent debout devenant plus fort à l'altitude de 250 m, j'ai fait tourner les hélices à 1 000 tours; j'ai remonté ainsi facilement le courant et je me suis dirigé sur le château de Rosny.

» Arrivé au-dessus du parc, j'ai évolué dans tous les sens, le ballon obéissant parfaitement au gouvernail, puis je me suis dirigé sur le hangar de Moisson.

» L'atterrissage a eu lieu à l'endroit désigné, devant la porte.

» La rentrée du ballon dans le hangar s'est effectuée sans incident.

» En résumé, départ par la pluie, à 8 h. 54 m.; atterrissage à 10 h. 30 m.

» Évolutions au-dessus de Limay, Mantes et Rosny.

» Chemin parcouru : 37 km.

» Altitude maxima : 300 m.

» Cette altitude s'explique par le séchage du ballon quand la pluie a cessé. A partir de ce moment, le ventilateur a fonctionné sans arrêt pour remplacer le gaz expulsé constamment.

» Nous avons été acclamés par les populations sur tout le parcours.

» *Signé :* JUCHMÈS. »

La distance parcourue de 37 km et la durée d'ascension de 1 h. 36 m. sont des résultats qu'aucun dirigeable n'avait atteints avant *le Lebaudy* et qui n'ont encore été dépassés que par lui-même.

Après une dernière ascension, où on essaya ce que le ballon deviendrait s'il était désemparé d'une hélice, on le dégonfla pour remettre du gaz neuf, et la deuxième campagne fut entamée fin juin.

Elle dura soixante-dix jours et fut surtout une campagne d'études des moyens que le dirigeable présentait; elle conduisit notamment à l'augmentation de la puissance du ventilateur; elle fut marquée par quatorze ascensions parmi lesquelles on peut rappeler :

Celle du dimanche 5 juillet, jour fixé d'avance pour la réception de la Commission scientifique de l'Aéro-Club, comprenant des sommités aéronautiques et scientifiques comme MM. de Fonvielle, Eiffel, Besançon, de la Vaulx, Lévy de l'Institut, Balsan, etc.;

Celle où fut atteinte l'altitude de 440 m, avec des moyens beaucoup moins puissants que ceux que nous possédons aujourd'hui à ce point de vue;

Et surtout celle du 24 juin, où le dirigeable effectua un parcours de 98 km, où le moteur fit 147 400 tours, et qui dura de 5 h. 10 m. à 7 h. 56 m., soit 2 h. 46 m.; le voyage dut être arrêté parce que la nuit aurait pu rendre difficile la rentrée au hangar, qui n'était pas encore éclairé à cette époque.

## Voyages de Paris et de Chalais.

Le dirigeable fut dégonflé le 20 août, et l'examen de l'étoffe nous montra que le tissu interne était rongé par de l'acide sulfurique et l'hydrogène sulfuré entraînés petit à petit par le gaz. Nous avons alors lavé l'enveloppe à l'eau ammoniaquée, et nous en avons remplacé les parties les plus attaquées par des tissus ayant deux couches de caoutchouc, dont une interne; nous avons consolidé le reste de l'enveloppe avec des galons blancs, et ajouté à l'appareil à gaz les organes d'épuration déjà décrits.

Puis le troisième gonflement de l'année fut effectué, et permit de faire quatre ascensions très intéressantes.

La première ascension eut lieu le dimanche 8 novembre devant le corps des officiers du bataillon des aérostiers du 1er génie.

La deuxième ascension eut lieu le 10 novembre, par un grand vent, que le dirigeable supporta facilement.

C'est après ces deux galops d'essais, que nous nous décidâmes à réaliser notre programme de voyages par escales; c'était ennuyeux de toujours faire des voyages en boucle, avec l'éternel retour au point de départ, qui est peut-être le pont aux ânes des dirigeables, mais qui devenait monotone.

Il fut donc décidé que le ballon irait d'abord de Moisson à Paris, au Champ-de-Mars, où on l'abriterait dans le Palais des Machines, puis à Chalais-Meudon, où on l'abriterait dans le hangar du génie.

Donc, le jeudi 12 novembre 1903, un an moins un jour après la première sortie libre du dirigeable, sur un ordre venu de Paris, le matin, par téléphone, le *Lebaudy*, conduit par M. Juchmès, accompagné de M. Rey, quittait la plaine à 9 h. 20 m.; un vent de 6 m à la seconde poussait vers le nord, prenant le dirigeable au travers de sa route; M. Juchmès s'assurait donc une garantie en appuyant d'abord nettement sur sa droite; il conservait ensuite la pointe du ballon toujours à droite.

Il voyait défiler sous lui un interminable ruban de champs, de routes, de collines, plateaux et vallées; il contournait les bois pour éviter le refroidissement du gaz et conserver ses moyens, traversait plusieurs fois la Seine, et enfin, vers Poissy, commençait à distinguer dans la brume la haute silhouette de la tour Eiffel. Pliant alors sa carte, il pointait droit sur la tour, traversait, sans la contourner cette fois, la forêt de Saint-Germain, arrivait rapi-

dement au-dessus des glacis du Mont-Valérien, et apercevait devant lui la mer de maisons formée par Paris et ses faubourgs de l'ouest. Quelques minutes encore le *Lebaudy* passait au-dessus de la porte de Passy, puis à côté de la tour Eiffel, virait à droite, descendait dans celui des deux carrés du Champ-de-Mars, placé entre la rue transversale et le Palais des Machines. Il y était reçu par les démolisseurs qui prenaient très adroitement sa corde et par MM. Lebaudy et moi qui l'attendions.

Il était 11 h. 1 m.; l'ascension avait duré 1 h. 41 m.: la distance en ligne droite, à vol d'oiseau, est 52 km, et, en fait, en suivant les sinuosités de la carte, qui sont des minimum, de 62 km.

Le ballon fut alors rangé près du Palais des Machines, avec la voiture-tubes, puis il fut rapproché de l'ouverture de l'ancienne galerie de 30 m, par laquelle nous le fîmes rentrer, en le démontant en deux parties, le ballon par la partie supérieure, la nacelle toute montée, en la passant sous le plancher.

Nous avons fait tout cela sans autorisation, et malgré la police qui trouvait que nous prenions la galerie d'assaut ; MM. Lebaudy ont régularisé ensuite avec l'Administration qui a été d'ailleurs très aimable et très tolérante.

Le dirigeable était d'ailleurs admirablement bien dans cette galerie qui avait l'air d'être son cadre naturel.

Nous avons voulu prouver, en y amenant le ballon, qu'avec la tour Eiffel comme phare, le Champ-de-Mars pour l'atterrissage, le Palais des Machines constituerait, par excellence, le port à dirigeables de Paris.

On avait parlé de démolir l'œuvre d'Eiffel ; on parle maintenant de démolir celle de Contamin, pour découvrir quelques vieilles moulures.

Les Ingénieurs et les aéronautes du monde devraient, Messieurs, se solidariser pour obtenir le maintien d'un ensemble, admirablement pratique, et, quoi qu'on en dise, admirable tout court.

Quoi qu'il puisse être fait à ce sujet, il fallait quitter la Galerie pour aller à Chalais; et si nous avions pu démonter rapidement le dirigeable avant de le rentrer, on ne pouvait songer à s'en aller de la même manière. Alors, avec l'autorisation de M. Picard, Commissaire général de l'Exposition de 1900, dont dépendait le Palais, nous avons montré que la galerie qui la coupe à demi-hauteur tout autour n'a pas le rôle nécessaire de contrevente-

ment qu'on lui a attribué, et nous en avons enlevé une portion; les dernières poutres de cette galerie tombaient dans l'après-midi du jeudi 19, et, le lendemain, le *Lebaudy* quittait Paris.

Ce voyage, si bien commencé, n'a pas tout à fait aussi bien fini; d'abord, au cours du trajet, le vent contraire est devenu de plus en plus fort; mais le dirigeable, et, peut-être plus encore que lui, le personnel qui le conduit, ont du ressort, et en forçant la vitesse du moteur et des hélices, l'un portant l'autre, réussirent à franchir la côte qui précède le Val Fleury; une fois entré dans la cuvette du Parc de Chalais, le dirigeable arriva en trombe vers la pelouse, et Juchmès siffla comme d'habitude pour appeler son monde. Nous étions tous là, mais nous sommes partis trop tard; 30 secondes trop tard.

C'est une affaire faite; le moteur est arrêté, la nacelle a déjà touché le sol une fois; mais le vent est en train de prendre sa première revanche; il pousse le dirigeable sur les branches de l'arbre unique qui est au milieu de la pelouse, la pression du ballon augmente, une branche casse et le perce, et le ballon, qui avait l'air d'un immense morceau de buis, se crève et s'affaisse.

Heureusement personne n'avait rien, Juchmès et Rey sortaient de la nacelle sains et saufs et pleins de courage; et ces braves gens, pour nous prouver, et pour prouver à tous qu'il ne fallait pas se désoler, employaient le reste de la journée à coopérer au démontage du ballon, de leur pauvre ballon, qui venait de s'échouer au port, comme un gros poisson bâillant.

Tout était bien, car cette journée, tout compte fait, n'avait pas été malheureuse.

D'abord, MM. Lebaudy, pas du tout découragés, ont immédiatement décidé la confection de l'enveloppe du modèle 1904. Puis, de ce jour, date l'adjonction à la nacelle du serpent, que le Commandant Bouttieaux, Chef de l'Établissement du Matériel aérostatique de Chalais, nous a conseillé d'adopter; enfin la carcasse avait joué un de ses rôles, et préservé les aéronautes.

Bien entendu, nous avons dû renoncer au retour de Chalais à Moisson par la voie des airs; nous avons ramené le matériel par routes à la raffinerie de la Villette, nous l'avons remis en ordre pour 1904, et de nouveau amélioré.

*Année 1904*. — Au début de l'année 1904, MM. Paul et Pierre Lebaudy avaient à leur disposition un dirigeable qui possédait (et qui possède encore) ce qu'on appelle les records du monde,

en vitesse, durée d'ascension, nombre d'ascensions, importance des voyages réalisés, fréquence des sorties, etc.

Ils voulurent prouver, et ils l'ont fait, que cette appareil était réellement pratique; qu'il pourrait, en particulier, charger des passagers, et leur faire faire de la navigation aérienne de plaisance, jour ou nuit.

Dans ce but, nous avons profité de la réfection de l'enveloppe pour augmenter les qualités de fond de l'appareil, c'est-à-dire la durée et la fréquence des ascensions; nous avons augmenté le cube du ballon, celui du ballonnet, la puissance du ventilateur, le lest et l'essence; pour que la vitesse et la stabilité ne soient pas altérées par ces modifications, on a ajouté le coupe-vent et le papillon; enfin, l'éclairage du ballon, celui du hangar, ont reçu leur solution; nous avons obtenu ainsi le type 1904. Le tout a été prêt assez tard, pour le 4 août seulement; néanmoins, trente ascensions ont été faites par M. Juchmès en deux campagnes, et l'année 1904 a été très heureuse; il n'y a pas eu d'accident analogue à celui de Chalais; le ballon est bien parti une fois tout seul, après avoir rompu ses amarres, mais comme il n'y avait personne dans la nacelle, c'était sans danger.

La première campagne a eu lieu du 4 au 28 août; elle comporte douze ascensions en vingt-quatre jours; les premières ont été d'intérêt technique; elles nous ont conduit à augmenter encore la vitesse et la puissance du ventilateur.

Puis, le 20 août, le dirigeable étant complètement au point, étant livrable, si l'on peut s'exprimer ainsi, les ascensions personnelles de MM. et M^mes Lebaudy commencèrent : c'est d'abord M. Paul Lebaudy puis M^me Paul Lebaudy qui firent successivement le même jour une ascension dans le dirigeable, ensuite le lendemain dimanche, nous disposions dans le compartiment d'arrière un deuxième siége, et enfin le surlendemain M. et M^me Pierre Lebaudy prenaient place ensemble dans la nacelle; — cette fois M. Pierre Lebaudy pilotait l'ascension.

La campagne d'été a été interrompue le 28 août, par ce que nous appelons la fugue de Serquigny.

Après une ascension heureuse, et sans histoire pour elle-même, la douzième de l'année, M. Juchmès, étant donnée la direction d'est du vent, direction assez rare, résolut d'atterrir à l'ouest de la plaine, en arrière du hangar; il n'y avait pas d'équipe de ce côté; après l'atterrissage, MM. Juchmès et Rey, et un aide, Visard, qui les accompagnait, quittèrent la nacelle, et

ils se disposaient à en retirer les tubes pointus pour amarrer le dirigeable sans autre secours que celui d'un paysan, qui se trouvait à peu de distance, lorsqu'une rafale subite emmena le ballon; les trois hommes saisissant les guide-ropes, cherchèrent, mais en vain, à les enrouler autour des premiers arbres; l'un fut cassé, l'autre fut écorcé, dépouillé jusqu'à son bouquet supérieur qui resta dans la corde; un autre fut à moitié scié et brûlé par la deuxième corde qui y imprima une spirale creuse; bref l'équipage, les mains arrachées, dut s'avouer vaincu, et nous vîmes le ballon s'offrir, seul, sa 13e ascension de l'année, dans la direction de la mer.

Heureusement, tout se termina bien; MM. Pierre Lebaudy et Juchmès, partis en automobile à la poursuite du fugitif, le voyaient après quatre heures de course, descendre à Serquigny, dans l'Eure, où nous les rejoignîmes le soir; nous employâmes la journée du lundi au démontage, et le surlendemain le ballon avait réintégré le hangar.

Le ballon a rencontré, avant de toucher terre, la cime d'un grand chêne dépassant le reste de la forêt; la force vive de la masse du ballon a pu casser cette cime sur plus de 6 m de hauteur; mais, en même temps, la moitié arrière de la grande carcasse a eu des tubes faussés et brisés, et le ballon s'est plié *sans se déchirer*, au-dessus des cassures, en deux tronçons encore pleins de gaz. D'ailleurs, en dehors des tubes faussés par le chêne, le reste du matériel n'a pas souffert, le moteur était intact, et l'appareil photographique lui-même, placé sous l'avant de la nacelle, était resté indemne, et clos.

Cette aventure a été elle aussi pleine d'enseignements; elle nous a donné la plus grande confiance dans *la résistance* de l'étoffe nouvelle, qui a supporté longtemps le maximum de pression correspondant au réglage des soupapes, puisque le ballon est monté à plus de 1 500 m, et qu'elle n'a pas été déchirée, même à l'atterrissage; cela nous a donné confiance aussi dans *le réglage* de ces soupapes, qui sont, maintenant, du modèle à ressorts horizontaux.

*Campagne d'hiver 1904.* — Après cet incident, nous avons remplacé les tubes abîmés, par le chêne, dans la carcasse, et nous avons entamé, en octobre, une deuxième campagne, celle d'hiver.

Elle a donné lieu à *18* ascensions.

Parmi les plus intéressantes, se trouve celle de la nuit du 24 octobre; après plusieurs essais le soir, pour mettre l'éclairage au point et s'y habituer, nous avons demandé à M. Juchmès une ascension en pleine nuit, à 2 heures du matin; il y avait à bord deux hommes de sport bien connus, MM. Farman et Wimille, et cette sortie, où il y a eu à la fois de la lune et du brouillard, où le dirigeable avait par moments l'aspect d'une brillante nébulosité aux contours imprécis, a été une des plus pittoresques que j'aie vues.

Dans la même saison, nous avons eu, à bord du dirigeable, l'amiral portugais Capello, qui a fait une ascension par pluie battante, et M. Besançon, secrétaire général de l'Aéro-Club de France, qui est monté en nacelle le 22 décembre, par une forte gelée, et a fait ce jour-là la 63e et dernière ascension.

Il y a eu aussi deux voyages à Mantes.

Dans le premier voyage, du 3 novembre, l'atterrissage devant le hangar a eu lieu à 5 h. 28 m.; l'aller a eu lieu en 18 minutes, le retour en 20; la différence est due à la composante du vent de nord-est (ou presque), qui avait environ 5,50 m de vitesse par seconde, et qui était un peu défavorable au retour; la durée totale du voyage a été de 38 minutes pour un parcours d'un peu plus de 21 km, ce qui donne 33,200 km de vitesse à l'heure, *par rapport au sol, pour un circuit fermé*. Les hélices ont tourné à 1 058 tours; la dépense de lest n'a été que de 28 kg: c'est très faible, surtout pour ce moment de la journée où le soleil disparaît, et c'est dû à l'emploi judicieux des plans mobiles horizontaux.

Du bord, les aéronautes ont assisté au coucher du soleil, et la nuit tombait sur la plaine au moment du retour; le garage avait été éclairé pour guider plus sûrement le retour.

C'est vers la fin de cette campagne d'hiver, et pour récompenser le personnel du hangar du zèle qu'il déploie autour du dirigeable, qu'une petite ascension de 25 minutes a été faite avec six personnes à bord; six personnes au nombre desquelles l'aide de Rey, jeune apprenti de 14 ans, représente certainement l'aéronaute le plus jeune qui ait voyagé en dirigeable.

Ainsi le programme de navigation de plaisance que nous nous étions donné pour 1904 a été rempli; pour 1905, nous avons fait un programme tout différent et beaucoup plus dur, et cela nous conduit, à la quatrième et dernière partie de ma communication, où il sera traité des *applications pratiques* de ce modèle.

## QUATRIÈME PARTIE

### Applications pratiques.

Bien entendu, la navigation aérienne n'est pas un mode de locomotion destinée à faire concurrence aux anciens et à les remplacer. En général, d'ailleurs, les nouveaux modes de transport se juxtaposent aux autres, puis tous se développent ensemble, et quelquefois même les uns par les autres. La navigation aérienne ne se substituera pas aux chemins de fer, aux automobiles, aux bateaux; c'est un moyen nouveau, qui répond à des besoins encore insatisfaits, et qui aura ses applications propres, des applications nouvelles.

Celles-ci sont innombrables; on en a rêvé de toutes sortes; on a dit, et cela se réalisera, qu'il n'y aura plus, sur le globe, de parties inexplorées ; on a dit aussi que, au moins pour les personnes et les objets chers, la locomotion aérienne, la seule qui ne rampe pas au niveau du sol, supprimerait toute barrière, toute frontière.

Ce n'est pas tout cela que nous voulons envisager aujourd'hui, mais seulement les applications pratiques, immédiates de ce modèle.

Elles sont de deux sortes : *sportives* et *militaires*.

Ce modèle peut réaliser, comme cela a été démontré l'année dernière, la navigation aérienne de plaisance. C'est une des choses les plus agréables que de pouvoir considérer les paysages de dessus, et non de côté ou presque de dessous, que de pouvoir suivre, d'en haut, toutes les péripéties d'une chasse, ou d'une course d'automobiles, ou de chevaux ; de pouvoir juger d'un coup d'œil la distribution des récoltes d'une région, etc., etc.

D'autres que nous développeraient mieux la liste de ces choses, qui n'ont pas la futilité qu'on pourrait croire, car c'est par elles que la pratique du dirigeable entrera dans les mœurs, que des équipages habiles se formeront, et que d'incessants perfectionnements viendront s'ajouter aux précédents.

Ce modèle est capable aussi, et surtout, de rendre les plus grands services en offensive militaire. Nous disons en *offensive*.

Supposons qu'on ait préparé à 30 ou 40 km derrière le front d'une armée une flotte de 10 navires comme celui-là, ils pourront, en 2 heures, passer au-dessus des avants-postes amis et

ennemis et porter chacun, sur les parties vitales de l'armée adverse, une trentaine de projectiles d'une dizaine de kilogrammes de poudre spéciale, mélinite ou autre; ils pourront, avec ces projectiles, armés au dernier moment, frapper au choix, à la tête, jeter le désarroi dans les états-majors eux-mêmes, réduire l'armée ennemie à l'état d'un troupeau sans direction.

Ce résultat s'obtiendra en ne compromettant, si on les compromet, que 30 vies humaines, et 3 millions de matériel, tandis qu'un cuirassé, dont l'action est limitée à la surface d'un élément et à ses bords, compromet plus de 800 personnes, plus de 30 millions, et est à la merci d'une torpille.

Ces appareils seront, en somme, un moyen de terminer une guerre rapidement, et avec une effusion de sang limitée, et la conférence de La Haye devra, pour remplir son but même, lever l'interdiction qu'elle a formulée et qui n'arrêterait pas, d'ailleurs, toutes les nations.

On a fait d'avance, à ma thèse, des objections qu'il est facile de lever. On a objecté que le jet de projectiles déséquilibrerait le ballon; nous avons dit, en parlant du ventilateur, quelles ressources il présentait à cet égard.

On a pensé aussi que le jet précis des projectiles serait difficile: il faudra, en effet, tenir compte du vent, de la vitesse de l'appareil, de son altitude; mais ce sera une question d'habitude et d'entraînement faciles à acquérir dans les ascensions du temps de paix, et il suffira qu'une partie des 300 projectiles de la flottille porte bien; les autres ne seront pas perdus complètement par suite de l'effet moral particulier qu'ils produiront.

On a pensé aussi que le dirigeable serait vulnérable; en effet, il le sera dans certaines conditions; mais le cavalier et le fantassin ne sont pas préservés par le cheval ou le sac, et l'aéronaute le sera davantage par son ballon; il peut monter à 1 000, 1 500, 1 800 m et se mettre par conséquent lui-même absolument à l'abri; il peut, plus bas, recevoir une balle sans risquer autre chose qu'une lente perte de gaz (nous avons fait des essais à ce sujet sur des ballons-réservoirs); enfin, des compétences s'accordent à dire qu'à 500 m, déjà, il sera invulnérable, parce qu'il est très difficile de juger de sa hauteur et de sa distance vraies, même en connaissant les dimensions de l'appareil; cela résulte, en particulier, des aspects bizarres et différents que prend le ballon selon la façon dont il se présente.

Ce qu'il faut étudier, pour employer les dirigeables, à la guerre,

ce ne sont pas les diverses objections précédentes, mais la façon de camper et de ravitailler ces appareils, et c'est ce qui va faire l'objet de la campagne d'essais que nous allons entreprendre.

En résumé, il semble qu'il y a beaucoup de chances pour qu'une flottille d'une dizaine de ces appareils rende de grands services dans une bataille, et il y en a même pour qu'ils reviennent presque tous indemnes; ils rendraient de grands services aussi dans l'attaque ou la défense des places fortes, dans celle des flottes. Entre temps, avant l'offensive qu'on attendra d'eux, ils pourront rendre de précieux services de *reconnaissance*, mais notons, en passant, que les reconnaissances devront surtout s'effectuer avec un modèle plus puissant et plus rapide que celui-ci, modèle actuellement à l'étude, qui aura moins de fond, plus de vitesse et qu'on n'emploiera pas en flottilles, mais plutôt isolément, et qui sera muni de signaux optiques, diurnes et nocturnes.

---

# CHRONIQUE

## N° 305

---

Sommaire. — Les essais de locomotives au laboratoire de Saint-Louis. — Oscillations des véhicules de chemins de fer. — Bateaux porte-trains américains. — Les ressort moteurs. — Chute d'un mur sous la pression du vent.

**Les essais de locomotives au laboratoire de Saint-Louis.** — On sait que quelques Universités techniques américaines possèdent des laboratoires pour l'essai des locomotives. La Compagnie du Pennsylvania Railroad avait installé, à l'Exposition de Saint-Louis, un laboratoire de ce genre destiné à expérimenter les locomotives exposées et pouvant recevoir des machines de la plus grande dimension. Sans entrer dans des détails trop circonstanciés à ce sujet, nous nous bornerons à rappeler que le principe de ces installations consiste à poser les roues de la locomotive sur des galets portés par des axes tournant dans des coussinets.

La locomotive en faisant tourner ses propres roues par l'action de son mécanisme fait tourner les galets dont les axes portent des freins destinés à absorber le travail et l'effort de traction qui s'exerce sur le crochet d'attelage est mesuré par un dynamomètre.

On peut ainsi relever toutes les circonstances de la marche de la machine comme si elle courait sur une voie de chemin de fer, sauf, bien entendu, la résistance de l'air et les oscillations provenant de la voie.

On mesure l'eau vaporisée, on pèse le charbon brûlé et on relève les conditions de la combustion et de la vaporisation comme on le fait dans les opérations de ce genre exécutées sur les machines fixes. A Saint-Louis, on se proposait d'obtenir par cette méthode des indications utiles sur les résultats comparatifs donnés par divers systèmes de locomotives, par exemple, simple expansion, compound à deux cylindres, compound à quatre cylindres, machines équilibrées, etc.

La Compagnie du Pennsylvania R. R. vient de publier les résultats complets obtenus avec la première locomotive qui ait été essayée au laboratoire de Saint-Louis. Il nous paraît intéressant de les faire connaitre d'après le résumé qui a été donné par le *Railway Age* du rapport de la Compagnie, rapport très détaillé puisqu'il forme une brochure de 75 pages.

La machine expérimentée appartient au type *Consolidation* et représente à la fois le type de locomotive à marchandises de ce réseau et un modèle courant de forte locomotive moderne américaine. Les cylindres ont 0,560 m de diamètre et 0,712 de course, la chaudière a un diamètre de 1,92 m, une grille de 4,55 m et une surface de chauffe totale de 231 m². Le poids adhérent s'élève à 78 400 kg, ce qui donne une charge de 19 600 kg sur chacun des quatre essieux accouplés.

L'essai, au laboratoire, de cette locomotive est particulièrement inté-

ressant parce que c'est le premier qui ait été exécuté sur une locomotive puissante. Il n'y a donc pas à s'étonner qu'on n'ait pas obtenu tout ce qu'on pouvait désirer, parce qu'il s'est produit des difficultés inattendues lesquelles ont empêché de soumettre la machine à des conditions de travail correspondant au maximum de puissance. On s'est rapidement rendu compte qu'une vitesse critique se trouvait atteinte, vitesse à laquelle les perturbations amenées par les contrepoids rendaient impossible le fonctionnement régulier de l'ensemble ; ce n'est qu'à la fin de l'exposition qu'on a trouvé moyen d'atténuer l'effet de ces perturbations, ce qui a permis d'exécuter des essais ultérieurs dans de meilleures conditious.

Bien que l'effet maximum de traction de cette locomotive puisse être évalué à 18 000 kg, soit 1 à 4,35 du poids adhérent, le plus grand effort accusé par le dynamomètre n'a pu dépasser 10 000 kg à la vitesse de 80 tours par minute ou 20 900 m à l'heure avec une admission aux cylindres de 37 0/0 de la course. La vitesse maxima à laquelle on ait poussé la machine est celle de 160 tours par minute correspondant à 41 800 m à l'heure ; la quantité de charbon brûlé par heure et par mètre carré de grille a varié dans les limites de 110 à 422 kg. Si ces conditions ne sauraient être considérées comme répondant à un développement considérable de travail, elles représentent assez bien les conditions courantes du service; les chiffres relatifs à la vaporisation, au travail dans les cylindres et au développement de l'effort de traction ont un intérêt particulier en ce qu'ils sont les premiers résultats de ce genre obtenus sur une aussi grosse locomotive.

Le combustible employé dans ces essais était d'une seule qualité qui s'est trouvée exceptionnellement bonne; la capacité calorifique avait été trouvée de 14 000 B. T. U. Il contenait 75,8 0/0 de carbone fixe, 16,3 de composés volatils et 7 de cendres.

Dans les chiffres relatifs à la vaporisation, dans lésquels figure la surface de chauffe, on doit tenir compte de ce qu'on a pris le côté du feu pour les tubes et la boite à feu. La différence avec la surface obtenue en prenant le côté en contact avec l'eau n'est pas de moins de 33,8 m² ou 14,7 0/0 ; mais il est certain que la vraie manière de compter la surface de chauffe est celle qui a été employée ici, qui consiste à prendre le côté en contact avec les gaz de la combustion ou surface intérieure. Il serait à désirer que la Master Mechanics Association rendit obligatoire la considération de la surface intérieure. La pression à la chaudière a été maintenue uniforme dans une mesure très satisfaisante ; le maximum a été de 14,4 kg et les variations n'ont pas dépassé 5 0/0.

La plus grande vaporisation constatée a été de 11 710 kg à l'heure, la vitesse de 42 km à l'heure, ce qui correspond à une production de 50 kg en nombre rond par mètre carré de surface de chauffe et par heure. La qualité de la vapeur a été trouvée constamment assez bonne au moyen du calorimètre de Peabody, la proportion d'eau n'ayant jamais dépassé 1 1/4 0/0, cette proportion ayant d'ailleurs une tendance à s'élever avec le taux de la production de vapeur.

Le travail maximum développé dans cette série d'essai a été de 891 chevaux calculé sur la base habituelle de 15,6 k, par cheval heure; dans ces

conditions le travail maximum produit s'est élevé à 3,86 ch par mètre carré de surface de chauffe avec une consommation de combustible de 1,88 kg par cheval-heure.

La plus grande quantité de charbon passé à l'état solide par les tubes a été de 295 kg par heure, on en a retrouvé 192 dans la boite-fumée à l'état de cendres et 103 ont été emportés par la cheminée. On avait établi des manomètres sur le cendrier et sur la boite à fumée pour permettre d'apprécier les résistances éprouvées par les gaz dans leur passage de sous la grille à la cheminée.

La plus forte dépression en millimètre d'eau trouvée dans le cendrier a été de 43, dans le foyer de 61, et, dans la boite à fumée, de 96,4 avant le diaphragme et 11,8 après le diaphragme. La dépression totale, pour une combustion de 5 kg par mètre carré de surface de grille et par heure, doit, d'après ces relevés, être pour cette chaudière de 1, 1/4 mm mesurée en avant du diaphragme de la boite à fumée.

La température dans le foyer a été trouvée, au moyen du pyromètre Le Châtelier, de 770 à 1 100° C. ; celle de la boite à fumé a varié de 300 à 390.

L'analyse des gaz a fait voir que la proportion d'oxyde de carbone qu'ils contiennent augmente avec la production de vapeur, atteignant un maximum de 4,53 0/0, alors que la proportion d'acide carbonique va de 9,7 à 13 0/0. La perte de calorique amenée par la production d'oxyde de carbone a atteint au maximum 16,35 0/0; elle a été trouvée de 11 0/0 pour la plus grande quantité de combustible brûlée par heure.

La vaporisation maxima par kilogramme de charbon sec a été de 11,53 à la faible vitesse de 11 km à l'heure et ce taux s'est abaissé avec l'accroissement de la vitesse jusqu'à 6,63 pour 43 km à l'heure. L'effet utile de la chaudière a été de 79 0/0 à la plus grande vitesse et de 45,4 à la faible vitesse indiquée ci-dessus.

Si on considère maintenant ce qui se rapporte à la machine elle-même, on trouve que le travail maximum indiqué, 1 036 ch, a été obtenu à l'introduction de 35 0/0 et à la vitesse de 120 tours par minute, vitesse correspondante à celle de 31.4 km à l'heure ; le meilleur effet utile a été obtenu sur les pistons à 31 0/0 d'admission et à la même vitesse que précédemment, avec une consommation de 10,5 kg de vapeur par cheval indiqué heure.

A l'admission de 30 0/0 et à la pression à la chaudière de 14,2 kg, la pression moyenne effective sur les pistons était, à 40 tours par minute, de 4,80 kg ; à 80 tours, de 4,17 kg ; à 120 tours, de 3,49 kg, et à 160 tours de 2,58 kg.

Il semble que le travail d'une locomotive est mieux estimé si on le rapporte à l'effort de traction indiqué par le dynamomètre, parce que c'est sous cette forme que se fait l'application à la traction des trains. L'appareil employé dans les essais dont nous nous occupons est sans aucun doute l'instrument le plus délicat et le plus précis dont on se soit jamais servi pour mesurer l'effort de traction d'une locomotive ; aucune dépense n'a été épargnée pour réaliser une balance ne laissant rien à désirer. Comme on l'a vu plus haut, l'effort maximum enregistré a été de 10 000 kg.

On n'a pas essayé d'en obtenir un plus grand, parce qu'à de faibles vitesses et avec des admissions plus longues, on avait toujours à craindre de voir les roues patiner à cause des variations de pression de l'eau agissant sur les freins. Cette difficulté a été surmontée dans les essais ultérieurs faits sur les autres machines et on a pu régler les freins de manière à faire produire à ces machines leur maximum de travail.

La plus faible dépense de vapeur a été obtenue, par cheval mesuré au dynamomètre ; à l'effort maximum de traction, cette dépense était de 11,8 kg. La plus faible consommation de combustible également par cheval mesuré au dynamomètre, a été de 1,60 kg à la faible vitesse de 40 tours par minute et une admission de 40 0/0, l'effort de traction sur la barre d'attelage étant de 4,150 kg. Une consommation de 1,80 à 2,25 kg de combustible par cheval développé sur la barre d'attelage paraît être la moyenne pour une locomotive de ce type à la vitesse ordinaire des trains de marchandises.

Comme l'avait indiqué déjà précédemment le professeur Goss, la résistance propre du mécanisme d'une locomotive paraît être constante pour une vitesse donnée et décroît lorsque la vitesse augmente, ce qui d'ailleurs s'accorde avec les lois générales du frottement.

Les valeurs moyennes de cette résistance à diverses vitesses sont données dans le tableau ci-dessous :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nombre de tours par minute . . . . | 40 | 80 | 120 | 160 |
| Vitesse par heure en kilomètres. . . | 10,8 | 21,6 | 32,4 | 43,2 |
| Travail de la résistance en chevaux. . | 83 | 132,5 | 187 | 224 |
| Résistance par centimètre carré sur le piston . . . . . . . . . . . . | 1,40 | 1,02 | 1,00 | 9,4 |
| Résistance rapportée à la barre d'attelage. . . . . . . . . . . . . . | 2 103 | 1 626 | 1 590 | 1 436 |

Le rendement du mécanisme a varié de 73 à 85 0/0. A 160 tours, le travail dans les cylindres était de 1 100 ch au maximum; le travail représenté par la résistance des organes a été au maximum de 258 ch, ou 23,5 0/0 du travail total de ce type. Bien qu'avec une machine de ce type, on doive s'attendre à des résistances supérieures à celles de locomotives ayant un moins grand nombre d'essieux accouplés ensemble, on peut trouver une telle proportion bien élevée et, comme dans des expériences ultérieures on a trouvé des proportions notablement moindres avec une autre machine du même type, on est en droit de supposer que les boites à graisses de la locomotive expérimentée n'étaient pas dans le meilleur état ou que le graissage laissait à désirer.

Nous avons donné les points les plus remarquables relatifs à ce premier essai fait au laboratoire sur une grosse locomotive. Les essais ultérieurs ont été accomplis dans des conditions plus favorables parce qu'on avait apporté des améliorations indiquées par la pratique aux diverses parties de l'installation et ces essais présentent un nouvel intérêt en ce qu'on y a réalisé des vitesses et des puissances plus grandes.

Ils seront publiés comme ceux dont nous venons de parler par les soins de la Compagnie du Pennsylvania R. R.

**Oscillations des véhicules de chemins de fer.** — Notre distingué Collègue M. G. Marié a présenté à l'Académie des Sciences, dans la séance du 6 mars 1905, une intéressante note sur les oscillations des véhicules de chemins de fer sur leurs ressorts de suspension. Cette question présente un double intérêt au point de vue du déraillement que peut provoquer l'excès de ces oscillations et à celui des effets fâcheux produits par les secousses sur les voyageurs, le matériel et la voie et son importance devient de plus en plus grande avec l'augmentation de la vitesse des trains rapides.

Ces oscillations causées, soit par les défauts du matériel, soit par ceux de la voie, ont été l'objet d'études et d'expériences de la part d'Ingénieurs de grande valeur. Parmi les secondes, on a étudié, notamment, celles qui sont dues aux dénivellations périodiques verticales se produisant à chaque joint des rails et on pense que ces oscillations doivent être forcément divergentes et par conséquent dangereuses lorsqu'il y a synchronisme entre le temps que le véhicule met à parcourir la longueur d'un rail et la durée de son oscillation naturelle sur ces ressorts; on en a conclu qu'il y avait par là une vitesse critique qu'on devait éviter de réaliser.

M. Marié a trouvé que cette question, étudiée par lui en 1901, avait une grande analogie avec celle des régulateurs de vitesse, et a été amené à rechercher la condition de convergence des oscillations des véhicules de chemins de fer sur leurs ressorts et la vitesse critique qui est la plus défavorable. Il a fait, dans ce but, une étude graphique de ces oscillations et est arrivé à la formule suivante, donnée dans son mémoire de 1901, et qui fixe la condition de convergence

$$h \leqq 2 f a,$$

dans laquelle $h$ est la dénivellation périodique de la voie 0,004 m environ, $f$ le frottement relatif du ressort et des guidages et $a$ la flèche du ressort.

Cette formule, établie pour un cas théorique simple, peut s'appliquer le plus souvent, dans la pratique des chemins de fer et donne une condition de convergence des oscillations de véhicules; elle montre :

1° Qu'on doit employer une voie aussi rigide que possible pour diminuer la valeur de $h$;

2° Qu'il faut avoir des ressorts ayant une grande flexibilité et en même temps un frottement relatif assez élevé;

3° Que si la condition ci-dessus est réalisée, le véhicule n'aura pas d'oscillations divergentes verticales, quelle que soit la vitesse. M. Marié ajoute que les oscillations dont il s'agit ne sont pas les seules à considérer et qu'il y en a d'autres, parfois dangereuses qui imposent souvent une limite à la vitesse.

Dans une nouvelle communication présentée à l'Académie dans la séance du 8 mai dernier, M. G. Marié s'est occupé des oscillations du véhicule à l'entrée en courbe et à la sortie. Ses recherches de 1901 et celles qui font l'objet de cette nouvelle communication l'ont conduit à admettre que les oscillations de la caisse sur les ressorts, en travers, se font autour d'un point sensiblement fixe qu'il appelle centre d'oscilla-

tion, point situé à l'intersection du centre de gravité de la caisse et du plan horizontal, passant par les points les plus hauts du contact des boites à huile avec les plaques de garde.

L'auteur établit des formules qui permettent d'obtenir la réaction sur la voie en tenant compte du poids et de la force centrifuge simple de la partie non suspendue du véhicule, de la hauteur du centre d'oscillation du diamètre des roues et de l'écartement de la voie.

Ces formules ont été établies dans l'hypothèse, que le centre de gravité de la caisse est assez bas pour qu'on puisse négliger les variations du moment du poids de cette caisse due à la flexion des ressorts; c'est très admissible, mais l'auteur indique une méthode qui permet de traiter le cas général, en tenant compte du frottement et de la hauteur du centre de gravité qui augmente l'amplitude des oscillations et leur durée. Ces oscillations donnent des effets puissants qui peuvent paraître inquiétants à première vue, mais les frottements en atténuent beaucoup l'importance surtout pour les locomotives.

Les conclusions de cette note sont les suivantes :

1° Dans le cas où on ne peut pas introduire dans le tracé des courbes de raccordement assez longues, il faut, tout au moins, employer des courbes de raccordement courtes;

2° Si on donne à la voie le même devers à l'entrée en courbe et à la sortie, l'emploi du demi-devers est plus avantageux que celui du devers théorique complet;

3° Il y a lieu de construire le matériel de façon qu'il possède des frottements suffisants pour résister, dans une certaine mesure, aux oscillations en travers;

4° Il est bon de donner à la voie un devers supérieur à la moitié du devers théorique à l'entrée en courbe et inférieur à cette moitié à la sortie, puis de relier le tout par trois raccordements lents de devers;

5° Il est utile d'augmenter la résistance des voies en travers, surtout aux points où les réactions horizontales de matériel sont maxima;

6° Il y a un sérieux avantage à donner à tout le matériel une élasticité horizontale assez grande avec frottements suffisants.

**Bateaux porte-trains américains.** — Nous avons parlé, dans la chronique d'avril, page 592, d'un projet de traversée du Pas-de-Calais par des bateaux portant des trains de chemins de fer. Nous croyons intéressant de donner ici un exemple de bateaux construits tout récemment en Amérique pour un service analogue mais plus modeste, car il s'agit seulement d'un passage de rivière entre Détroit, Michigan et Windsor, Ontario, distance 800 m, mais la faible durée du trajet est compensée par la nécessité de briser la glace en hiver et ces bateaux ont dû être disposés en conséquence. Le Michigan Central R.R. possédait déjà trois bateaux à roues et il a fait récemment construire un bateau à quatre hélices qui porte le nom de *Détroit* et présente des dispositions intéressantes.

Ce bateau à 94 m de longueur, 19,50 m de largeur de coque et 23 m de largeur avec les gardes, le creux est de 5,90 m et le déplacement de 3850 t. Il tire 3,05 m à vide et 4,20 m à charge. Sa vitesse

moyenne est de 18 milles à l'heure. Les machines et chaudières sont placées sous le pont au-dessus duquel s'élèvent les quatre cheminées disposées deux d'un côté et deux de l'autre côté de l'axe longitudinal. Sur chaque bord est un rouf de 27 m de longueur pour loger le personnel qui compte 34 hommes en été et 55 en hiver et contenir des locaux pour les agents des douanes américaines et canadiennes et les employés du chemin de fer. La partie supérieure de chacun de ces roufs forme un pont de promenade.

Le pont du bateau porte trois voies, une au centre et deux sur les côtés en dehors des cheminées; ces voies peuvent recevoir 24 wagons à marchandises ou 12 voitures Pullman pour voyageurs.

Ces véhicules sont solidement amarrés avec des chaines et des agrafes. Le bateau porte quatre hélices deux à chaque bout et un gouvernail à chaque extrémité, mais l'avant et l'arrière ne sont pas semblables: à l'avant il y a une passerelle très élevée, disposée transversalement au-dessus des voies et portant la chambre du pilote. Sur chaque rive. le bateau accoste par l'avant contre un débarcadère portant trois voies correspondant avec celles du bateau.

Le moteur se compose de quatre machines compound du type de marine ayant chacune deux cylindres de 0,61 m et 1,22 m de diamètre et 0,825 m de course. Les arbres ont 0,270 m de diamètre et portent des manivelles équilibrées, les boutons de manivelles ont 0,253 m × 0,253 m: les arbres de buttée ont 0,280 m de diamètre et les arbres d'hélices 0,285 m; ces derniers sont terminés par une partie conique destinée à recevoir le moyeu de l'hélice; celles-ci sont à quatre ailes et ont 3,20 m de diamètre et 4,42 m de pas.

Dans la chambre du pilote, sur la passerelle, se trouve des transmetteurs d'ordre à sonnerie aboutissant à la chambre des machines et une lampe placée dans un circuit électrique indique si la transmission fonctionne. Devant le pilote se trouvent disposées quatre paires de petites lampes; les unes donnent une lumière rouge, les autres une lumière verte, une paire pour chaque machine.

La couleur qui se voit indique le sens de la marche de chacune des machines, verte pour la marche en avant et rouge pour la marche en arrière. Le pilote voit donc d'un coup d'œil dans quel sens fonctionnent les quatre machines motrices. On conçoit de quelle importance est, pour ce genre de bateau, l'exécution des manœuvres ordonnées par le pilote et l'assurance pour celui-ci qu'elles sont opérées convenablement.

Il y a deux paires de pompes à air actionnées par des machines compound verticales et deux pompes d'alimentation actionnées de même. Comme le navire peut rester en stationnement plusieurs heures consécutives, et que l'alimentation de la bâche est suspendu par l'arrêt des pompes à air, on a recours à une disposition spéciale. Deux des pompes à air déchargent dans un réservoir d'où l'eau est envoyée dans un réchauffeur ouvert dans lequel puisent les pompes d'alimentation; la marche de ces dernières est contrôlée par les régulateurs alimentaires des chaudières. La vapeur d'échappement des machines d'alimentation, de celles des dynamos, des ventilateurs, du gouvernail, etc., passent dans un séparateur et de là vont réchauffer l'eau d'alimentation. Deux dynamos à com-

mande directe fournissent le courant pour l'éclairage qui comprend entre autres un puissant phare électrique.

Il y a quatre chaudières du type dit Ecossais, établies pour une pression de 10,5 kg, mais, sauf dans les cas où l'on travaille dans les glaces, la pression ne dépasse pas 7 kg. Le tirage forcé par soufflage dans le cendrier peut être employé en cas de nécessité. Il y a, avons-nous dit, quatre cheminées; ces cheminées ont une section oblongue, elles s'élèvent à 10,90 m au-dessus du pont et sont entourées jusqu'à une hauteur de 4,20 m par une enveloppe servant à aspirer l'air des chaufferies du navire et à y déterminer un courant d'air. Les soutes peuvent contenir 300 t de charbon et peuvent être remplies par des wagons à trémies qu'on amène sur les voies latérales du pont au-dessus de panneaux de 12 m de longueur.

La coque est en acier et construite avec une extrême solidité, le navire étant disposé pour briser la glace en la coupant par l'avant et non en montant dessus pour la broyer par son poids. Les membrures sont écartées de 0,61 et sont en fer en U de 0,305 × 0,080 m; il y a quatre rangs de carlingues tubulaires sous les machines. Les barrots du pont ont 0,45 m de hauteur et sont espacés de 1,22 m d'axe en axe; ils sont supportés par trois rangs de colonnes formés de deux fers en U rivés ensemble. Les côtés du pont qui débordent la coque sont supportés par des fers en U assemblés à la coque par des goussets. Autour du pont règne une ceinture en fer de même profil de 0,305 m de largeur contenant des pièces de chêne de 0,305 × 0,150 m, recouvertes à l'extérieur d'une bande d'acier de 0,22 m de largeur sur 21 mm d'épaisseur. Les voies du pont sont formées de rails de 90 kg le mètre courant portés par des fers à double T faits avec quatre cornières assemblées par rivets.

Le *Détroit* est en service depuis l'hiver dernier et en janvier 1905 il a fait un service très dur au milieu des glaces qui ont été particulièrement fortes. Il met dix à douze minutes pour effectuer le passage, y compris le débarquement, et a été construit par les Great Lakes Engineering Works, de Detroit, Michigan.

Nous croyons à propos de compléter cet article par la description sommaire de deux bateaux du même genre en construction pour la traversée de l'Hooghly, à Calcutta, des trains du Bengal-Nagpur Railway, description que nous empruntons à l'*Indian Engineering*.

Ces bateaux, qui portent les noms de *Shalimar* et *Kidderpore*, ont 94 m de longueur, 15,25 m de largeur et 3,60 m de creux; ils peuvent marcher dans les deux sens et ont les extrémités semblables et un gouvernail à chaque bout. Ils sont mus par des roues à aubes latérales dont chacune est actionnée par une paire de cylindres disposés en compound diagonalement. Il y a quatre chaudières avec autant de cheminées, ces chaudières peuvent fonctionner au tirage naturel ou au tirage forcé en chaufferies closes. Chaque machine peut recevoir la vapeur d'une paire ou l'autre de chaudières. La puissance collective est de 1 900 ch indiqués.

Les bateaux ont trois voies disposées sur le pont et peuvent recevoir sur ces voies 23 wagons chargés du poids de 32 t chacun, soit 736 t. Dans ces conditions, le tirant d'eau avec 40 t de charbon dans les soutes

ne devra pas dépasser 2,05 m en eau douce. Au tirant d'eau maximum, la vitesse en eau calme atteindra 10,5 nœuds.

Sur chaque rive est disposé un ponton flottant relié à la terre par deux passerelles portant une voie; ces voies aboutiront à des plaques tournantes au nombre de six placées sur deux voies transversales, une à chaque extrémité du bateau, cette disposition permet de placer rapidement les wagons sur le pont du bateau. Ces plaques tournantes sont mues par des machines alimentées par la vapeur des grandes chaudières ainsi que les cabestans et toutes les machines de servitude.

Les wagons qu'on a à transporter ont 6,70 m de longueur, 3,05 m de largeur et pèsent 8,5 t à vide et 32 t en charge. La distance des plaques tournantes sur le pont est de 50,70 m d'axe en axe. Le déplacement en charge est de 2 200 t. Le prix de chaque bateau est de 1 035 000 f prêt à prendre la mer en Écosse ou 1 157 000 f rendu à Calcutta.

**Les ressorts moteurs.** — L'emploi de ressorts comme moteurs, ou pour parler plus exactement, comme restituteurs de travail, se bornait autrefois à l'horlogerie, mais il s'est étendu beaucoup depuis quelques années et on s'en sert maintenant pour une foule d'usages parmi lesquels nous citerons : les boites à musique, les phonographes, les appareils enregistreurs, les télégraphes, les ventilateurs, les jouets mécaniques, etc. On a cherché même à leur trouver d'autres débouchés tels que la mise en action de machines à coudre et appareils relatifs aux usages domestiques, mais le plus souvent avec très peu de succès. La plupart de ces échecs tiennent à l'ignorance presque complète des inventeurs relativement au mode d'action des ressorts moteurs. Le journal allemand *Allgemeine Uhrmacher Zeitung* consacre à cette question un intéressant article que nous trouvons dans le Supplément du *Scientific American*.

Il arrive journellement qu'un fabricant de ressorts se trouve appelé à répondre à la question suivante : Quel est le prix d'un ressort pouvant donner un travail de... pendant trois heures en faisant 100 tours? Cette question implique la supposition que le travail que peut donner un certain ressort est constant, ce qui constitue une erreur fondamentale. Un ressort entièrement bandé exerce son plein effet seulement pendant les premiers tours et la force décroît progressivement à mesure qu'il se déroule. Des ressorts très forts et très longs ne donnent une force un peu considérable que pendant dix-huit à vingt tours. Au delà, le frottement des spires les unes contre les autres absorbe la plus grande partie de l'énergie. Pour obtenir une marche de longue durée, il faudrait recourir à l'emploi d'un régulateur et de transmissions dont la résistance absorberait la plus grande partie de l'effet du ressort, en supposant même qu'on pût arriver à établir ces appareils avec le soin et la précision d'uu ouvrage d'horlogerie. Le bénéfice de ces complications serait très douteux.

On calcule très souvent le travail dont un ressort est susceptible d'après le volume d'une longueur du donnée ressort, c'est-à-dire d'après sa section transversale. Cette méthode est inexacte, malgré son apparence d'exactitude théorique; on rencontre aussi souvent une hypothèse non moins fautive qui est en quelque sorte corrélative avec la précédente, c'est que

l'effet d'un ressort d'épaisseur donnée est proportionnel à sa largeur, autrement dit qu'un ressort de largeur double donnera un travail double, toutes choses égales d'ailleurs. Il ne faut pas perdre de vue que l'énergie d'un ressort d'acier trempé dépend non seulement de la qualité du métal dont il est fait, mais encore de ses dimensions, épaisseur, largeur et longueur, et surtout de cette dernière, du diamètre du moyeu ou arbre sur lequel il doit être enroulé, du rapport entre ce diamètre et la longueur du ressort, et encore, dans une certaine mesure, de l'état de poli des surfaces de la lame d'acier, car le frottement des spires les unes contre les autres est une fonction non négligeable.

Voici quelques règles pratiques qui peuvent être utiles pour guider dans l'emploi des ressorts comme moteurs. Dans les conditions normales, le diamètre de l'arbre d'enroulement ne doit pas être inférieur au tiers du diamètre du barillet qui contient le ressort, un second tiers est occupé par le ressort bandé et le troisième tiers est réservé au déroulement des spires. Si, par exemple, le barillet a un diamètre de 60 mm, l'arbre devra avoir 20 mm et les spires déroulées occuperont 10 mm de chaque côté, soit 20 mm en tout; alors que les spires serrées prendront 20 mm également.

Si on a besoin d'un ressort, le mieux est de s'en rapporter au fabricant en lui indiquant bien exactement l'usage auquel le ressort est destiné et en lui laissant le soin de le calculer, car l'expérience est le meilleur guide en l'espèce; mais si pour une raison quelconque on ne peut procéder ainsi, il est préférable de prendre un ressort de longueur exagérée et de l'essayer sur un tambour provisoire. On tâtonnera sur la longueur et sur les diamètres de tambour et de l'arbre jusqu'à ce qu'on arrive à des proportions satisfaisantes en éliminant tout poids inutile et en rendant ainsi le ressort le moins cher possible. Ces essais amèneront la constatation de ce fait que le ressort exerce d'autant plus d'effort de poussée qu'il est moins long et que le diamètre de l'axe sur lequel il s'enroule est plus petit; mais il faudrait se garder d'en conclure qu'on peut réduire au minimum le diamètre de cet arbre, ce qui amènerait le dépassement de la limite d'élasticité de l'acier du ressort et finalement la rupture de celui-ci. Le diamètre de l'arbre doit être de vingt à vingt-cinq fois l'épaisseur du ressort.

Un facteur de grande importance est la relation entre l'épaisseur et la largeur du ressort. Plus cette dernière est grande, moins le ressort tend à perdre de sa force par un fonctionnement prolongé, tandis que des ressorts trop étroits par rapport à leur épaisseur perdent rapidement leur force d'expansion. Pour des bandes de 0,5 mm d'épaisseur la largeur doit être d'au moins vingt fois l'épaisseur, pour une épaisseur comprise entre 0,5 et 1 mm, la largeur doit être trente fois l'épaisseur et, pour une plus grande épaisseur, quarante fois. On ne fait pas d'ailleurs de ressorts d'horlogerie plus larges que 120 mm ou plus épais que 2 mm. Si on besoin d'une force plus considérable, il est préférable d'employer deux ressorts indépendants plutôt qu'un seul ressort de dimensions anormales.

Si on tient compte des observations qui viennent d'être exposées ci-dessus, on peut calculer un ressort d'une manière très simple. Le res-

sort débandé a un diamètre extérieur égal à celui du barillet dans lequel il est contenu, tandis que le diamètre intérieur est le tiers du diamètre extérieur. Si on multiplie le diamètre moyen de l'anneau formé par le ressort, diamètre qui est les 5/6ᵉ du diamètre extérieur. par 3,1415 rapport de la circonférence au diamètre et ensuite par le nombre de tours qui est facile à connaitre, on obtient la longueur totale du ressort. Le nombre de tours peut être obtenu en divisant l'épaisseur totale de l'anneau par l'épaisseur de l'acier du ressort.

Si donc un ressort de 1 mm d'épaisseur est enroulé dans un barillet de 60 mm de diamètre, la longueur calculée comme ci-dessus sera de

$$\frac{5 \times 60}{6} \times 3\,1415 \times \frac{60 \times 1}{6}$$

Si on réduit les fractions, on a $50 \times 3\,1415 \times 10 = 1{,}57$ m.

L'équation précédente permet de trouver l'épaisseur du ressort ou le diamètre du barillet, si on se donne la longueur du ressort.

Il est assez difficile de savoir exactement le nombre de tours que l'arbre peut faire avant le déroulement complet du ressort ou avant l'épuisement total de son énergie. Pour y pourvoir, il faut déterminer le nombre de tours que fait l'arbre pour enrouler complètement le ressort entièrement détendu et on l'obtient en divisant l'épaisseur de l'anneau formé par le ressort bande par l'épaisseur de l'acier qui le forme. On calcule maintenant le nombre de tours du ressort détendu, comme on l'a indiqué précédemment, en divisant le sixième du barillet par l'épaisseur de l'acier. La différence entre les deux nombres de tours ainsi obtenus donne d'une manière approximative le nombre de tours que le déroulement du ressort fera faire à l'arbre.

On ne peut naturellement pas donner des indications s'appliquant à tous les cas, mais on a voulu seulement fournir ici des indications générales sur les principes qui règlent l'emploi des ressorts comme moteurs.

**Chute d'un mur sous la pression du vent.** — M. Wilfrid Airy a donné, dans les publications de l'*Institution of Civil Engineers*, une note relative à la résistance des murs de briques contre la pression du vent où nous trouvons l'indication d'un fait intéressant.

L'auteur expose d'abord la théorie du renversement d'un mur par le vent. Si nous supposons le vent venant de droite, le mur représentant un certain poids, soit par sa propre masse, soit par le poids supplémentaire dont il pourrait être chargé est soumis à l'action verticale de la pesanteur agissant au milieu de la base; si on prend les moments par rapport à l'angle de gauche autour duquel il tend à tourner, le vent agira par un bras de levier égal à la distance du centre de pression à la base et le poids par un centre égal à la moitié de l'épaisseur du mur à la base. Mais le renversement du mur exigera l'écrasement du mortier à l'angle gauche, ou l'arrachement du même mortier à l'angle de droite. Il semble que le mur puisse tomber aussi bien par l'un que par l'autre, mais, dans tous les cas qui sont arrivés à la connaissancee de l'auteur, la chute a eu lieu par l'arrachement du mortier à l'angle du côté du vent.

Le fait intéressant auquel nous avons fait allusion est le suivant : Un mur a été renversé par le vent dans les quartiers est de Londres ; ce mur était entièrement isolé et formait la clôture d'une cour d'école. La longueur était de 3,75 m et la hauteur de 4,80 ; le couronnement avait une forme angulaire. On peut se demander : 1° sous quelle pression de vent ce mur a-t il pu tomber ; 2° dans quelles conditions la chute s'est-elle produite ?

En fait, le mur a cédé à 0,60 m du sol par l'arrachement du mortier à l'angle du côté d'où soufflait le vent, ce qui résulte de l'examen des lieux. Les dimensions verticales et horizontales du mur étant peu considérables, on peut admettre que la pression du vent était uniforme. Si on applique les données numériques et qu'on recherche la pression du vent nécessaire pour dépasser l'action du poids du mur et la résistance du mortier à l'arrachement, on trouve que cette pression a dû atteindre le chiffre de 28,5 kg par mètre carré.

L'anémomètre le plus proche du lieu de l'accident se trouvait à l'Observatoire de Greenwich à plusieurs kilomètres de distance et, à ce moment, il enregistrait une pression de 34,1 kg par mètre carré. Si on considère que l'anémomètre de l'Observatoire est dans une situation tout à fait exposée au vent, il est bien peu probable qu'une pression peu différente ait pu se produire sur un mur abrité et peu élevé.

On a dû rechercher s'il ne s'était pas produit quelque circonstance particulière et on a constaté qu'à angle droit avec le mur tombé, était un mur formant partie d'une grande construction. Le vent frappant obliquement sur ce mur était réfléchi sur le mur voisin et la pression qui en résultait jointe à la pression directe a formé le total nécessaire pour renverser le mur.

Il y a là un fait à noter qui peut fournir l'explication d'accidents restés plus ou moins mystérieux.

---

# COMPTES RENDUS

## SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

AVRIL 1905.

Rapport de M. HITIER sur **les Études sur l'Économie alpestre,** de M. BRIOT, Conservateur des Forêts à Aurillac.

L'auteur s'est proposé de propager la connaissance des ressources importantes qu'offre aux montagnards une judicieuse association de l'économie pastorale et de l'économie forestière et on souhaite voir réaliser dans les Alpes françaises des expériences et des exemples propres à orienter l'avenir vers une production plus intensive des montagnes, capable de contribuer, dans une certaine mesure, à maintenir l'attachement de leurs populations au sol natal.

On retrouve, ajoute le rapporteur, cette même largeur et justesse d'esprit dans cette appréciation qui pourrait servir, il semble, de conclusion pratique aux observations de M. Briot : « Il vaut mieux éclairer le peuple sur ses intérêts véritables que de le contraindre par des lois auxquelles il est presque impossible d'obéir. »

**L'Agriculture en 1904,** par M. HITIER.

L'auteur s'est proposé d'appeler l'attention sur quelques-uns des faits principaux qui se sont produits dans ces derniers temps, faits dont l'agriculture semble s'être préoccupée à juste titre, parce que telle découverte récente, telles nouvelles méthodes, tel changement dans la production ou le commerce des denrées agricoles dans le monde, peuvent être le point de départ d'un nouveau progrès ou d'une orientation nouvelle en agriculture.

Nous citerons, parmi les sujets traités, le développement de l'industrie laitière à propos duquel est décrit le procédé Just-Hatmaker pour la fabrication du lait en poudre, dont la boulangerie parisienne consomme déjà 8 000 à 10 000 kg par mois dans la fabrication des pains au lait, et le développement agricole de la République Argentine qui a exporté, en 1904, vers l'Angleterre, plus d'un million de tonnes de blé, alors que les États-Unis n'y exportaient que moins de la moitié. On estimait, en 1900, que le bétail de ce pays comptait 130 millions de moutons, 30 millions de bêtes à cornes et 5 millions de chevaux.

**Distributeurs d'engrais en ligne,** par M. HENRY DUPAYS, Ingénieur agronome.

Des expériences pratiques, faites depuis un certain nombre d'années, ont montré, qu'au moins pour certains engrais, il y avait économie à en effectuer la répartition en lignes ou en bandes, à côté ou au-dessous

du rang des plantes cultivées. L'auteur expose les résultats obtenus dans des expériences qu'il a entreprises à ce sujet avec des semoirs à débit variable.

**Sur la transmission par lien flexible et extensible,** note de M. Ch. Rozé.

Dans la transmission par courroie, on est conduit à donner à la tension du brin conduit une valeur se rapprochant de l'effort transmis. Or, le capitaine Leneveu a installé des transmissions où la tension initiale est très faible, ce qui porterait à croire que les coefficients de frottement admis jusqu'ici sont beaucoup trop faibles. Il est donc à désirer que les éléments dont dépend la transmission par lien flexible et extensible soient l'objet de déterminations expérimentales directes propres à fixer les nouvelles conditions d'installation.

Note sur **la Variation quotidienne d'un puits artésien,** par M. Flamant, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Des observations faites au Japon ont indiqué une corrélation du niveau de certains puits artésiens avec celui de l'Océan, distant de 6 km environ du puits ; on a constaté également des variations en rapport avec celles de la hauteur du baromètre. On peut en conclure que le niveau, dans un puits, est maintenu par deux pressions agissant en sens inverse : la pression atmosphérique et la pression souterraine, de sorte que si l'une de ces pressions varie, le niveau varie en conséquence ; la pression souterraine est considérablement affectée par le niveau de la marée et il est probable que ces changements de pression peuvent donner naissance aux circonstances favorables à la production des tremblements de terre, fréquents. comme on sait, au Japon. La détermination de la fraction de la pression atmosphérique transmise à travers l'écorce terrestre à des profondeurs variables pourrait, sans doute, si on en généralisait l'étude, avoir des conséquences utiles.

**Notes de chimie,** par M. J. Garçon.

Nous signalerons les sujets suivants : les hyposulfites, la cause du jaunissement des cotons blanchis, l'adoucissage de l'eau par chauffage sous pression, l'échantillonnage, le nettoyage des objets en caoutchouc.

**Notes économiques,** par M. M. Alfassa.

Nous trouvons sous cette rubrique : le Simplon, les traités de commerce de l'Allemagne, les grèves de Marseille, la grève des mineurs de la Ruhr et les Bills sur les Syndicats et la journée de huit heures dans les mines pour les enfants au Parlement anglais.

**Notes de mécanique.** — Gazéification des combustibles dans les gazogènes au point de vue de l'application aux moteurs et mandrineurs Lovekin.

---

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

1er TRIMESTRE DE 1905.

**Paroles prononcées** aux obsèques de **M. Eyriaud des Vergnes,** Inspecteur général des Ponts et Chaussées, le 4 février 1905, par M. Lorieux, Vice-Président du Conseil général des Ponts et Chaussées.

**Notice biographique** sur **M. M.-C. Lachalas,** Inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. Bechmann, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

**Oscillations des tours de phares,** par M. Ribière, Ingénieur en chef du Service central des Phares et Balises.

Les tours de phares oscillent d'une façon très sensible sous l'action intermittente du vent.

L'auteur a cherché à déterminer l'amplitude et la période de ces oscillations par l'emploi, dans les principaux phares de France, d'appareils identiques, susceptibles de donner des résultats permettant d'utiles comparaisons.

L'appareil, construit par M. Richard, se compose d'un support qu'on place à la partie supérieure du phare ; ce support reçoit une glace fixe et un mouvement d'horlogerie qui fait mouvoir horizontalement, au-dessus de la glace, un curseur à la vitesse de 2 mm par seconde. Une glace indépendante repose sur la glace fixe par l'intermédiaire de billes en acier, sur la face supérieure de cette glace on pose des lames de verre au fumée destinées à recevoir la trace de style inscripteur.

Lorsque la tour oscille, le support est entrainé, mais la glace supérieure reste immobile en vertu de son inertie et le style y trace les oscillations du support.

Ces appareils ont été placés dans sept phares des côtes de France. On a constaté que les oscillations étaient très faibles, 1 à 3 mm, et les périodes très courtes, moins d'une seconde, c'est-à-dire bien au-dessous des oscillations que Léonor Fresnel supposait devoir atteindre 0,60 m d'amplitude et 1 ou 2 secondes de durée.

L'emploi de cet instrument permet de comparer les divers phares au point de vue de la rigidité et peut déceler l'infériorité relative de certaines tours, telles que celles de la Canche et de Calais, construites en briques tendres d'une manière assez légère.

**Murs de quai récemment construits à Nice et à Cannes.** — Comparaison entre deux modes de construction, air comprimé et blocs artificiels, par M. Bourgougnon, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Les murs du quai de Cannes sont en blocs artificiels, ceux de Nice ont été faits à l'air comprimé. Comme les deux ouvrages ont été exécutés dans le même service d'Ingénieur, par les mêmes entrepreneurs, à

la même époque et qu'ils présentent à leur pied le même tirant d'eau, 6 m sous basse mer, il y a là matière à une comparaison précise entre les deux modes d'exécution.

Le mémoire décrit d'abord avec détails les deux ouvrages et leur exécution, puis donne les prix de revient, de la discussion desquels il ressort que, dans les circonstances de l'espèce, un mur de quai exécuté à l'air comprimé coûte, à stabilité égale, le même prix qu'un mur construit en blocs artificiels.

Si on tient compte, en outre, de divers avantages accessoires, il semble qu'on n'hésitera pas, en général, à moins de raisons locales exceptionnelles, à donner la préférence à l'air comprimé pour la construction en eau calme des murs de quai.

Application de **la Méthode des joints secs à la construction des voûtes biaises,** par M. Thorel, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Une modification du tracé des voies du P.-L.-M., entre Marseille et Nice, a exigé la construction de deux ponts biais au-dessus de ces voies; ces ponts sont à section droite en arc de cercle. La note décrit en détail la construction de ces ponts avec l'emploi de la méthode des joints secs pour l'exécution des voûtes en deux rouleaux, qui a donné de très bons résultats. L'un de ces ponts a coûté 10 200 f et l'autre 14 500 f pour une ouverture droite de 13 m et une largeur totale de 6 m.

**Calcul des ponts en arc et des ponts suspendus,** par M. Considère, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

L'auteur indique que le calcul d'un pont suspendu rigide, dépourvu de haubans obliques peut s'appliquer aux ponts en arc si on renverse le sens des efforts; la proposition est évidente pour ceux dont la voûte serait assez mince dans le sens normal à l'extrados pour que la rigidité fut négligeable par rapport à celle du tablier et dont les tympans seraient formés de montants verticaux non triangulés et articulés à leurs extrémités. On démontre que l'assimilation est encore possible si la voûte ou les arcs sont rigides,

On peut en conclure que l'application des formules des poutres droites permetta de résoudre les problèmes que soulève le calcul des arcs symétriques ou non, encastrés ou articulés, indépendants ou reliés à des longerons rigides, supportés par des piles immobiles ou élastiques et pourvus ou non d'entraits, les mêmes formules s'appliquent sans modifications au calcul des ponts suspendus à câbles paraboliques mais seulement dans le cas où les poutres qui raidissent le tablier sont assez rigides pour que les déformations des câbles n'altèrent pas notablement la forme parabolique et que les tensions des tiges de suspension équidistantent restent, à peu près, égales entre elles.

**Construction de deux ponts suspendus** (système Gisclard). — Rapport de M. Maurice Lévy, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Une Commission a été instituée par M. le Ministre des Travaux Pu-

blics, à la date du 5 juillet 1904, pour examiner les projets de deux ponts suspendus rigides (système Gisclard) pour donner passage à la ligne de Villefranche à Bourg-Madame. Ces projets sont dus à la collaboration de MM. Gisclard et Arnodin.

Le train d'épreuves à traction électrique pèserait 180 t, mais on doit supposer la circulation de trains uniquement composés de 6 voitures-automotrices de 192 t.

La longueur totale est de 243 m formée d'une travée centrale de 156 m et de deux travées de rives de 39 m chacune. Le pont est en rampe continue de 6 0/0, de sorte qu'il y a une différence de niveau de 19,04 m entre les deux extrémités de l'ouvrage. Le tablier, maintenu rigide par des poutres en treillis, est supporté par des haubans obliques partant du sommet de pylônes métalliques s'élevant à 30 m au-dessus du tablier.

La Commission estime que, sous réserve de quelques observations de détails, rien ne s'oppose pas à ce que ce système de pont puisse être réalisé, il se prête aux plus grandes portées et, comme il peut rendre de grands services pour certains cas, soit en France, soit aux Colonies, il y a intérêt à l'expérimenter.

*A suivre.*

---

## ANNALES DES MINES

---

*2e livraison de 1905.*

Résultats d'une enquête sur **le mode de fermeture des cages** servant au transport du personnel, par M. Delafond, Inspecteur général des Mines.

A la suite d'un grave accident survenu dans une houillère, l'administration avait fait procéder, en 1901, à une enquête sur le mode de fermeture des cages servant au transport du personnel. La note passe en revue les résultats fournis par cette enquête dans les divers arrondissements minéralogiques. Elle conclut en indiquant quelques mesures de sécurité telles que l'emploi des portes qui constituent, en réalité, le meilleur obstacle à la chute des personnes hors de la cage. Si ces portes présentent, par contre, certains inconvénients, ils ne sont pas bien graves, en réalité, et ne doivent pas faire repousser l'emploi des portes, généralement d'ailleurs en usage en Saône-et-Loire et dans la Loire.

**Théorie des moteurs à gaz et à pétrole**, par M. E. Mérigeault, Ingénieur des Mines.

L'auteur a pour objet de faire une application des principes de la thermodynamique au cas des moteurs à gaz, et explique l'opportunité d'une nouvelle étude par l'imperfection des théories généralement admises jusqu'à ces dernières années. Il nous semble que ce travail, intéressant d'ailleurs, se place sur un terrain purement théorique, l'auteur reconnaissant que certaines de ses conclusions ne s'appliquent pas

aux moteurs réels, mais seulement au cas irréalisable de moteurs à parois réfractaires; aussi se propose-t-il d'aborder plus tard la question d'une manière plus générale.

**L'industrie minière et métallurgique dans les Asturies**, notes de voyage, par MM. P. Nicou et Schlumberger, Ingénieurs des Mines.

Dans ces notes, recueillies en juin-juillet 1902, les auteurs, après avoir donné un aperçu géographique et géologique des Asturies, examinent successivement le cas de la houille, de l'industrie sidérurgique, et les métallurgies diverses, zinc, cuivre et mercure. Les deux premiers points sont traités avec un certain développement.

La production houillère du bassin des Asturies s'est élevée, en 1903, à 1 400 000 t en nombre rond et des recherches récentes semblent lui assurer un bel avenir en présence des réserves reconnues qui s'élèveraient à 2 1/2 milliards de tonnes. Mais les conditions de transport sont peu favorables et auraient besoin d'être améliorées. Le charbon des Asturies doit être envisagé surtout comme un article d'exportation vers les autres provinces espagnoles plutôt que vers l'étranger, et c'est ce qu'ont bien compris ceux qui cherchent à développer la production du bassin.

Les minerais de fer sont très abondants, mais leur production est encore assez faible, 79 000 t seulement en 1903, ils ne suffisent pas pour les hauts fourneaux de la province qui doivent recourir aux minerais de Bilbao et de la région de Santander. Il y a quatre usines sidérurgiques, dont l'une, celle de Trubia, appartient au Gouvernement espagnol et ne travaille que pour la marine et l'artillerie; les autres, Daro-Felguera, Mieres et Gijon, fournissent au commerce des produits courants. On peut évaluer leur production collective à 67 000 t de fonte en 1903, à 29 000 t de fer puddlé et 23 000 t d'acier Martin.

Les Asturies produisent (1903) un chiffre de 5 150 t de zinc fini ou en lingots, 2 000 t de cuivre et 50 000 kg de mercure en 1903. La production de ce métal paraît être en grande diminution, car on avait produit 138 000 kg en 1893 et 69 000 en 1901.

---

## SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

### N° 17. — *29 avril 1905.*

Le port de la Hanse, à Stettin.

Clapets à pleine ouverture pour compresseurs, par F. Strnad.

Foreuses disposées pour percer dans tous les sens, par W. Schrader.

Aperçu sur la théorie des diagrammes de machines à vapeur, par V. Blaes.

Machine à affûter les mèches de foreuses, par H. Fischer.

*Bibliographie.* — L'exploitation des fabriques, par A. Ballewski.

*Revue.* — Développement de la production du caoutchouc. — Les voies de navigation intérieure aux États-Unis. — Installation de compresseurs de la Carnegie Natural Gas Company. — Préparation du sable de fonderie à la Société Alsacienne de construction mécanique.

N° 18. — *6 mai 1905.*

Valeur de la surface de chauffe pour la production et le surchauffage de la vapeur, par Strahl.

Sur quelques points de chimie et de physique et leur application à la physiologie, par J. B. Goebel.

Protection des métaux et de leurs alliages contre la corrosion, par Uthemann.

*Exposition de Saint-Louis en 1904.* — Le matériel de chemins de fer, par Fr. Gutbrod *(suite)*.

*Groupe de Bavière.* — Expériences sur des machines employant l'acide sulfureux comme vapeur secondaire.

*Bibliographie.* — La participation du travail aux bénéfices, par W. Stiel.

*Revue.* — L'azote pour l'agriculture. — Grue-locomotive construite par les ateliers A. Borsig. — Machine à fraiser de la Hendey Machine Company. — Tracé des dents d'engrenages.

N° 19. — *13 mai 1905.*

Ordre du jour et programme de fête de la 46e réunion générale de l'Association des Ingénieurs Allemands à Magdebourg et à Thule, en 1905.

Dynamos actionnées par des turbines à vapeur, par F. Niethammer.

Valeur de la surface de chauffe pour la production et le surchauffage de la vapeur dans les chaudières de locomotives, par Strahl *(fin)*.

Variations dans la résistance des tôles à chaudières, par C. Bach.

Installation pour le chargement du combustible sur les tenders des locomotives dans la gare de Grunewald, à Berlin, par M. Buhle.

*Groupe de Hanovre.* — Corps de chaudières sans rivures. — Traverses métalliques ponr chemins de fer.

*Groupe de Poméranie.* — Emploi de l'air comprimé pour les machines-outils.

*Bibliographie.* — Manuel de physique industrielle, par H. Lorenz.

*Revue.* — Locomotives actionnées par des moteurs à combustion intérieure. — Fonctionnement des gazogènes aux houillères de von der Heydt. — Notice nécrologique sur Carl Lueg. — Association pour la prévention de la fumée, à Hambourg. — Le colonel Renard. — Le tonnage des principaux ports du monde.

N° 20. — *20 mai 1905.*

Influence économique de la compression dans la machine à vapeur, par H. Klemperer.

Les pompes centrifuges et leur fonctionnement, par H. Hayens.

Dynamos actionnées par des turbines à vapeur, par F. Niethammer *(fin)*.

*Groupe d'Aix-la-Chapelle.* — Contrôle de la marche des moteurs à gaz.

*Groupe de Palatinat-Saarbruck.* — Pompes centrifuges à haute pression.

*Bibliographie.* — Automobiles à vapeur, pétrole, électricité, par H. Rodier.

*Revue.* — Construction des tunnels du chemin de fer souterrain Est de Boston. — Galeries de filtrage de Nancy. — Presse hydraulique pour la fabrication des rondins. — Cétographie. — Bassin de radoub à Nagasaki. — Dock flottant pour les Philippines,

N° 21, — *27 mai 1905.*

Notice nécrologique sur Carl Lueg.

Nouveaux bâtiments de la division de mécanique de l'École technique supérieure saxonne de Dresde.

*Exposition universelle de Saint-Louis.* — Le matériel de chemins de fer, par Fr. Gutbrod *(suite)*.

L'ancienne industrie mécanique, d'après Schiller, par Kammerer.

*Groupe de Franconie et du Haut Palatinat.* — Utilisation des combustibles de faible valeur et particulièrement de la tourbe.

*Bibliographie.* — Les turbines à vapeur, par A. Stodola.

*Revue.* — Le vapeur fluvial *Vandal* de la Compagnie Nobel pour la production du naphte. — Explosion d'un récipient à oxygène comprimé. — Nouvelle voiture automobile pour chemin de fer en Angleterre.

*Pour la Chronique et les Comptes rendus :*

A. Mallet.

---

# BIBLIOGRAPHIE

## IIe SECTION

**Le port de Paris, hier et demain**, par M. F. Maury (1).

Cet ouvrage renferme des renseignements détaillés sur l'organisation du port, sur son trafic, sur les projets destinés à l'améliorer.

L'auteur commence par une esquisse de ce que furent les transports par eau, à Paris, dès l'occupation romaine, puis au moyen âge et jusqu'à la Révolution.

A cette époque les berges sont encombrées de baraques et semées de cloaques. La Seine et la Marne sont dangereuses ; certains parcours sont même impraticables, la traversée de Paris, par exemple, qu'on doit faire par charrettes.

Sous le Consulat et l'Empire le port se réorganise, des travaux d'amélioration des cours d'eau sont entrepris, l'inspection de la navigation et les marchés de denrées sont réglementés.

Le canal Saint-Denis, le canal de l'Ourcq et le bassin de la Villette, concédés en 1818 sont achevés en 1824, on construit des magasins. Ces premiers aménagements permettent à de nouvelles industries de s'implanter dans la capitale.

Dès le XVIIIe siècle on s'était occupé de divers projets établis en vue de supprimer les intermédiaires du Havre et de Rouen. Dans le même ordre d'idées, on étudie de 1824 à 1829 un canal latéral à la Seine.

Des entrepôts pour quelques marchandises spéciales avaient été autorisés en 1812 ; on en ouvre de nouveaux en 1834.

Entre 1845 et 1855 l'expansion du port s'arrête et parait même compromise par la création des chemins de fer ; mais on améliore le cours de la Seine et de ses affluents ; on trace de nouveaux canaux ; enfin la traversée de Paris est rendue possible.

Les magasins généraux s'organisent ; le remorquage à la vapeur se développe ; les droits de navigation sont diminués ; le régime du passavant est aboli en 1865 ; le bassin de la Villette rivalise d'importance avec Le Havre (1867).

Nouvel arrêt en 1870-71 ; il faut six ans pour retrouver le trafic antérieur.

Puis la ville rachète la concession du bassin de la Villette et des canaux Saint-Denis et de l'Ourcq et entreprend d'importants travaux d'amélioration.

Les ports de la Seine ont un développement de plus de 11 kilomètres ; le tonnage total du port de Paris dépasse celui de Marseille ; le poids total des denrées et objets entrés et sortis par les gares d'eau représente près des trois quarts de celui de toutes les gares de chemins de fer de la capitale.

(1) In-8e, 190×120 de 280 pages, avec un croquis du port de Paris. Paris, Guillaumin et Cie, 1904. — Prix : broché, 3,50 f.

Mais l'organisation commerciale est presque nulle ; les moyens de manutention sont insignifiants, les raccordements avec les chemins de fer n'existent pas ou sont mal compris ; il n'y a pas une seule cale de radoub.

Pour parer à l'encombrement des établissements de la Villette devenus tout à fait insuffisants, il existe un projet d'extension (croquis page 266) comportant deux nouveaux bassins avec magasins, outillage et raccordement ; les terrains nécessaires seraient fournis par les fortifications désaffectées.

Il faut souhaiter, conclut l'auteur, que le port de Paris, sur lequel repose, en grande partie, la fortune de la capitale, soit régénéré et que, « loin de le laisser dépérir, on lui donne les moyens de se développer encore ! »

AD. FERRÉ.

---

## IIIe SECTION

**Le fraisage**, par Émile JURTHE et Otto MIETZSCHKE, Ingénieurs, traduction française de la 2e édition allemande par M. VARINOIS, Ingénieur des Arts et Manufactures (1).

L'emploi des machines à fraiser se développe sans cesse, mais s'accroiterait sans doute plus rapidement et pénétrerait dans tous les ateliers. si la technique très spéciale et assez complexe qu'il faut posséder pour tirer le parti le plus avantageux de ces engins était connue de tous ceux qui travaillent les métaux ou plus approfondie par certains de ceux qui utilisent déjà le fraisage.

Cette technique a été étudiée, d'une manière très sérieuse et très complète, par MM. Émile Jurthe et Otto Mietzschke et nous pensons que leur ouvrage trouvera en France le même accueil favorable qu'il a rencontré en Allemagne.

La première partie est consacrée exclusivement à la fraise, c'est-à-dire à l'outil qui travaille le métal. On y trouve étudiées toutes les questions relatives à l'exécution des fraises, aux dispositions à leur donner, à sa trempe, au recuit, à leurs réparations et à leur entretien. On y trouve des données sur les vitesses les plus favorables de coupe et d'avance et des considérations intéressantes sur les fraises à grande vitesse.

La deuxième partie traite du mécanisme qui conduit la fraise. Après avoir indiqué les parties essentielles qui constituent une machine à fraiser, les auteurs étudient les conditions que doivent réaliser chacune d'elles et entrent notamment dans des détails très développés sur les appareils de division. Un chapitre spécial est consacré au fraisage des engrenages droits, hélicoïdaux et coniques. Viennent ensuite des monographies de différents types récents de machines à fraiser universelles et spéciales; puis enfin un chapitre tout entier consacré aux machines à dégager.

(1) In-8°, 225 × 165 de VII, 361 p. avec 371 fig. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix : broché 15 francs.

L'affûtage des fraises est étudié très complètement dans la troisième partie.

A la fin de l'ouvrage les auteurs ont cru utile de placer un appendice relatif à la construction des engrenages dans lequel nous signalons un exposé des méthodes employées par les Anglais et les Américains, pour le calcul des engrenages, par ce qu'ils appellent le diametral pitch.

A. D.

---

Les **Principes de la Mécanique** (1), par M. Wickersheimer, Ingénieur en chef des Mines.

Dans le très intéressant ouvrage portant ce titre, M. Wickersheimer s'élève, avec raison croyons-nous, contre la manière presque exclusivement mathématique dont on a enseigné jusqu'ici la mécanique.

Il rappelle que cette science est, avant tout, fondée sur l'expérience, et que si les théories mathématiques ont permis de développer les conséquences des principes établis expérimentalement par Bernouilli, Euler, Lagrange, Gauss, Jacobi, Hamilton et leurs successeurs, et ont facilité leur application aux découvertes modernes des sciences physiques, elles n'ont rien ajouté d'essentiel à ces principes et n'ont pas contribué à les faire découvrir.

Bien souvent, au contraire, des principes déduits des spéculations mathématiques sans le secours de l'expérience et qui n'avaient d'autre base de certitude que la notoriété de ceux qui les avaient formulés, ont découragé les chercheurs, qui par habitude d'esprit en étaient venus à les considérer comme intangibles.

M. Wickersheimer en cite un exemple bien topique, c'est l'expérience de Marey sur la chute du chat, qui émut si fort l'Académie des Sciences en raison de sa discordance avec le principe des aires. C'était cependant l'expérience qui avait raison contre le principe et finalement c'est à celui-ci qu'il fallut apporter un correctif pour le mettre d'accord avec l'expérience.

Cette dernière est en somme la seule base sérieuse sur laquelle puissent s'appuyer les diverses branches des sciences naturelles et seule elle permet de contrôler les principes déduits des mathématiques et au besoin de les modifier, de manière qu'ils soient d'accord avec les faits.

Si les mathématiques sont en effet un instrument d'investigation précieux et sûr, elles ne permettent de démontrer rien de ce qui était contenu dans l'expérience mise en équation, bien qu'en cas d'erreur elles permettent de remonter jusqu'à la source même de cette dernière et de rectifier l'hypothèse fausse qui a pu être faite.

Dans un résumé succinct, M. Wickersheimer passe en revue toutes les branches des sciences physiques et n'a pas de peine à démontrer que, si on s'en fût tenu aux principes énoncés, il eût été difficile de les faire progresser.

(1) In-8°, 225 × 140, de 130 pages, avec 11 figures. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix broché : 4 f.

L'ouvrage de M. Wickersheimer soulèvera bien probablement de vives discussions, mais il est d'accord avec la pensée d'autres savants qui jugent également que les mathématiques sont insuffisantes pour l'étude de la mécanique et qu'il faut de toute nécessité, recourir à l'expérience.

D'ailleurs, comme le dit l'auteur lui-même, rien n'est définitif en science et le progrès est toujours le résultat d'une évolution.

L'examen critique, fait par l'éminent Ingénieur en chef, des divers principes admis couramment en mécanique, apporte un solide appui à cette conclusion en montrant que l'énonciation même d'un principe absolu en science la fait entrer dans un cercle vicieux.

G. Hart.

---

## IVe SECTION

**Fabrication de l'acier** (1), par M. H. Noble,
Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien chef de service d'Aciéries.

Cet ouvrage traite exclusivement de la fabrication de l'acier par les procédés actuels : Bessemer et Martin ou leurs dérivés (procédés Talbot, Bertrand-Thiel, etc.).

Conçu à un point de vue essentiellement pratique, il étudie surtout avec détails les appareils de fabrication et les matériaux qui entrent dans leur construction; fidèle à son titre, il se borne à l'étude des procédés permettant d'obtenir le métal à l'état de lingot et laisse entièrement de côté la transformation de ce dernier en produits finis par les procédés de laminage ou de forgeage.

Après un rappel sommaire de notions indispensables sur les propriétés générales des aciers, l'auteur expose successivement la théorie et la pratique de la conversion de la fonte en acier par le procédé Bessemer auquel il consacre ensuite les chapitres suivants : Fontes de conversion; cubilots; mélangeurs. Chaux d'aciérie. Recarburation; coulée en poche. Établissements des convertisseurs. Garnissages basiques. Garnissages acides.

En ce qui concerne le procédé Martin, après deux chapitres consacrés respectivement aux études théorique et pratique de l'affinage sur sole, l'auteur traite successivement du chauffage des fours Martin, de leur construction et de leur entretien.

Un chapitre est consacré ensuite aux procédés mixtes, puis l'auteur étudie successivement les questions suivantes communes aux procédés Bessemer et Martin : lingots d'acier; coulée en lingotières; poches et appareils de coulée.

Enfin, après un chapitre consacré aux aciers spéciaux, l'ouvrage se termine par des renseignements sur le personnel et la comptabilité des aciéries.

H. P.

(1) In-8°, 255 × 165, de VII-600 pages, avec 94 figures et 9 planches. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix broché : 25 f.

**Le Schlammversatz dans la Haute-Silésie et en Westphalie,** publication de la Compagnie des Mines de Bruay (Pas-de-Calais).

Le *Schlammversatz*, ou transport des matières boueuses destinées au remblayage dans les mines de houille, est appliqué avantageusement en Allemagne dans plusieurs charbonnages importants.

La Compagnie des Mines de Bruay, qui se préoccupe de remédier aux affaissements produits par son exploitation souterraine, a envoyé en Silésie et en Westphalie trois de ses Ingénieurs, MM. Didier, Doise et Bourzat, pour étudier sur place cette méthode de remblayage.

Les notes recueillies par ces Ingénieurs ont été réunies dans une brochure publiée par les soins de la Compagnie de Bruay. On y trouvera la description des procédés imaginés dans six charbonnages pour l'application du Schlammversatz, depuis l'abatage des remblais aux carrières de la surface jusqu'à leur épandage dans les chantiers souterrains, ainsi qu'un certain nombre de renseignements précieux sur les dépenses occasionnées par l'installation du matériel et le fonctionnement normal de la méthode.

De nombreux croquis, intercalés dans le texte, permettent de se rendre compte des différents systèmes adoptés pour la manutention des sables, scories, laitiers ou déchets de lavage, leur mélange avec l'eau d'entraînement, leur transport par conduites spéciales et leur distribution dans les travaux souterrains suivant le mode d'exploitation adopté pour le dépilage des couches de houille.

L'ensemble est complété par un examen critique de quelques particularités du Schlammversatz, concernant le choix du remblai. les entonnoirs de chargement, les tuyaux de conduites, les vannes de distribution, les barrages souterrains, les liaisons téléphoniques entre le personnel du fond et celui de la surface, le prix de revient du remblayage par tonne de charbon extrait, etc.

Qu'on envisage le remblayage complet au moyen du sable ou le remblayage partiel au moyen des laitiers, scories et autres déchets entraînables par l'eau, il semble démontré aujourd'hui que le Schlammversatz est capable d'apporter une amélioration sensible dans certaines exploitations houillères. Outre la suppression des affaissements du sol, des incendies souterrains et de leurs conséquences, cette méthode permet de dépiler aisément les couches épaisses, d'enlever les stots de protection et la plus grande partie des piliers abandonnés pour la sécurité des travaux, tout en procurant une économie appréciable sur le remblayage à la main et en diminuant le nombre des accidents de personnes provoqués par les éboulements.

Les indications contenues dans la brochure de la Compagnie de Bruay rendront le plus grand service aux exploitants et aux Ingénieurs des mines désireux d'étudier l'embouage sur des données précises et de comparer, au point de vue pratique, les différents procédés qui ont été imaginés en Allemagne pour généraliser son application.

M. Boutté.

**Métallurgie du zinc**, par M. Lodin (1).

On doit à M. Lodin, Professeur de métallurgie à l'École nationale supérieure des Mines, une récente et importante monographie du zinc, constituant un traité complet de la matière.

L'auteur passe en revue dans cet ouvrage les nombreux problèmes que soulève la métallurgie du zinc et présente les diverses solutions que la pratique a sanctionnées.

Après un historique des anciens procédés de traitement et de l'origine des méthodes actuelles, il aborde la description des principales espèces minérales et celle des gîtes dont les minerais consommés dans le monde entier sont extraits ; les gisements zincifères sont à ce titre l'objet d'études particulières présentant un haut intérêt.

Passant alors à l'examen critique des principes généraux de la métallurgie du zinc, l'auteur traite, avec de grands détails, les opérations de la calcination des calamines et du grillage des blendes, sans négliger les procédés d'utilisation du soufre contenu dans les gaz provenant du traitement de ces derniers minerais.

D'importants chapitres sont consacrés, ensuite, à la production du zinc par réduction et distillation en vases clos dans les méthodes carinthienne, anglaise, silésienne et belge, renfermant des études étendues de la construction des fours, de leurs transformations successives pour arriver aux types modernes, tels les fours rhénans, et exposant leur fonctionnement, leur conduite et enfin les résultats économiques obtenus par leur emploi : main-d'œuvre, rendement, déchets divers, consommation de combustibles, produits réfractaires, durée des campagnes, frais de premier établissement, frais de traitement par tonne, etc.

A un bilan thermique de la réduction des minerais, succède un exposé des opérations accessoires de la métallurgie du zinc, dont le rôle et la conduite économiques exercent leur répercussion sur le prix de revient du métal : à ce titre la fabrication des produits réfractaires, la composition des mélanges destinés à la réduction, le traitement des résidus, le raffinage du zinc font l'objet de pages utiles à consulter.

Les variantes multiples qu'on a cherché à introduire, avec plus ou moins de succès, en vue d'améliorer les conditions du traitement et apportées au mode de chauffage des fours, à la distillation des vapeurs de zinc, au chargement enfin et au nettoyage des récipients dans lesquels cette distillation s'effectue, sont exposées en des descriptions raisonnées dont l'une est relative au traitement électrique des minerais de zinc et notamment au procédé électro-thermique que notre collègue, M. Salguès, nous a présenté en 1903.

On a cherché à réaliser des économies dans les frais d'obtention du zinc par la réduction au four à cuve ou au four à réverbère ; ces procédés de traitement ont été l'objet d'une étude spéciale, qui est suivie de celle de l'extraction électrolytique du zinc de ses minerais et de la fabri-

(1) In-8°, 250×160 de 811 pages avec 275 figures et 25 pl. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. — Prix : broché, 35 fr.

cation directe du blanc de zinc en usage aux États-Unis, procédé qui pourrait être utilement introduit sur l'ancien continent.

L'ouvrage très important de M. Lodin se refuse à l'analyse ; il faut le tenir dans les mains pour se rendre compte des détails multiples et consciencieux sur lesquels l'auteur a fait porter ses études et ses investigations ; il constitue un magistral exposé des principes et des solutions dont doit s'inspirer tout métallurgiste soucieux de ses intérêts, lui permettant d'améliorer rationnellement sa fabrication et son rendement et conséquemment la qualité et le prix de revient du métal extrait.

H. C.

---

*Le Secrétaire Administratif, Gérant.*

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 10444-3-05. — (Encre Lorilleux).

**MÉMOIRES**

ET

# COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

**SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE**

---

# BULLETIN

DE

JUIN 1905

---

**N° 6**

---

## OUVRAGES REÇUS

---

Pendant le mois de juin 1905, la Société a reçu les ouvrages suivants :

### Astronomie et Météorologie.

BIGOURDAN (G.). — *Les éclipses de soleil. Instructions sommaires sur les observations que l'on peut faire pendant ces éclipses et particulièrement pendant l'éclipse totale du 30 août 1905*, par M. G. Bigourdan (in-8°, 230 × 140 de 167 p. avec 39 fig.) (Extrait de l'Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1906). Paris, Gauthier-Villars, 1905. (Don de l'éditeur.) 43888

### Chemins de fer et Tramways.

*Compagnie du chemin de fer du Nord. Assemblée générale du 26 avril 1905. Rapport présenté par le Conseil d'administration. Résolutions de l'Assemblée générale* (in-4°, 270 × 220 de 94 p.). Lille, Imp. L. Danel, 1905. 43856

GUARINI (É.). — *Les chemins de fer Belges*, par Émile Guarini (in-8°, 235 × 155 de 64 p. avec 18 fig.). Paris, Vve Ch. Dunod. (Don de l'éditeur.) 43889

### Construction des Machines.

Güldner (H.) et Desmarest (L.). — *Calcul et construction des moteurs à combustion. Manuel pratique à l'usage des Ingénieurs et Constructeurs de moteurs à gaz et à pétrole*, par Hugo Güldner. Traduit de l'allemand, par L. Desmaret (in-8°, 280 × 185 de vi-633 p. avec 750 fig. et xi pl.). Paris, Ch. Béranger, 1905. (Don de M. L. Desmarest, M. de la S., de la part de l'éditeur.) 43891

Morin (A.). — *Des machines et appareils destinés à l'élévation des eaux*, par Arthur Morin (in-8°, 230 × 140 de 323 p. avec 9 pl.). Paris, L. Hachette et Cie, 1863. (Don de M. L. Périssé, M. de la S. 43897

### Éclairage.

Payet (J.). — *Trois jours à l'Exposition internationale du gaz tenue du 19 Novembre au 17 Décembre 1904 à Earl's Court (Londres).* Rapport, par M. J. Payet (Société technique de l'Industrie du gaz en France) (in-8°, 240 × 155 de 100 p. avec 10 pl., 1 photog. du banquet et 1 plan d'usine à gaz). Paris, P. Mouillot, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43874

### Électricité.

Escard (J.), Moissan (H.). — *Les fours électriques et leurs applications industrielles*, par Jean Escard. Préface de Henri Moissan (in-8°, 255 × 165 de xiii-535 p. avec 221 fig. et 1 pl.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. (Don de l'éditeur.) 43895

Minet (A.). — *Le four électrique. Son origine. Ses transformations et ses applications. Forces naturelles. Électrométallurgie. Chimie par voie sèche*, par Adolphe Minet. *Premier fascicule* (in-8°, 28 × 190 de 74 p. avec 8 portraits hors texte, 49 figures, 20 tableaux). Paris, A. Hermann, 1905. (Don de l'éditeur.) 43871

### Géologie et Sciences naturelles diverses.

*International Catalogue of Scientific Literature. First Annual Issue. G. Mineralogy including Petrology and Crystallography.* Published for the International Council by the Royal Society of London (in-8°, 215 × 135 de xiv-208 p.) *Vol. XI. 1903. January.* London, Harrison and Sons, Paris, Gauthier-Villars, 1903. (Don de M. Gauthier-Villars.) 43866

*International Catalogue of Scientific Literature. First Annual Issue. H. Geology.* Published for the International Council by the Royal Society of London (in-8°, 215 × 135 de xiv-200 p.). *Vol. XII. 1903. January.* London, Harrison and Sons, Paris, Gauthier-Villars, 1903. (Don de M. Gauthier-Villars.) 43867

Levat (D.). — *Note sur la reconnaissance d'un niveau aquifère dans le Sud-Oranais et dans le Sud-Marocain*, par M. David Levat (Extrait des Annales des Mines livraison de janvier 1905) (ouvrage honoré d'une souscription du Ministère de la Guerre) (in-8°, 225 × 140 de 48 p. avec 2 pl.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43877

Rinne (F.), Pervinquière (L.), Lacroix (A.). — *Étude pratique des roches à l'usage des Ingénieurs et des Étudiants ès sciences naturelles*, par F. Rinne. Traduit et adapté, par L. Pervinquière, avec une Préface de A. Lacroix (in-18, 190 × 130 de III-674 p. avec 257 fig.). Paris. F.-R. de Rudeval, 1905. (Don de M. J. Bergeron, M. de la S. de la part de l'éditeur.) 43894

## Législation.

*Association des Personnels de travaux publics, Ingénieurs auxiliaires, Sous-Ingénieurs, Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées, des Mines et de l'Hydraulique agricole de la France et des Colonies, fondée en 1855. Statuts et Règlement 1905* (in-8°, 240 × 160 de 39 p.). Paris, Association des Personnels de Travaux publics, 1905. 43880

*Förteckning öfver Svenska teknologföreningens. Ledamöter. April 1905* (in-8°, 205 × 135 de 78 p.). Stockholm, F.-A. Norstedt et Söner, 1905. 43839

Imbrecq (J.), et Périssé (L.). — *Les litiges de l'automobile. I. Retards de livraison. II. Vices de construction. III. Responsabilités des vendeurs et constructeurs. IV. Essais et Apprentissage. V. Réparations. VI. Voitures d'occasion. VII. Location. Conseils et Jurisprudence sur ces matières*, par J. Imbrecq et Lucien Périssé. Ouvrage suivi d'une étude des lois sur les accidents du travail et leurs applications à l'automobilisme (in-8°, 230 × 145 de VI-264 p.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. (Don de l'éditeur.) 43879

*The Canadian Society of Civil Engineers. Charter. By-Laws and List of Members. 1905* (in-8°, 230 × 155 de 94 p.). Montréal, Printed for the Society. 43838

## Métallurgie et Mines.

*Comité central des houillères de France. Annuaire. Onzième année. 1905* (in-8°, 215 × 140 de 738-98 p.). Paris, 55, Rue de Châteaudun, 1905. 43872

Granderye (L.-M.). — *L'Industrie de l'or*, par L.-M. Granderye (Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120 de 158 p. avec 15 fig.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie, 1905. (Don de l'éditeur.) 43886

Jicinsky (J.) et Gautier (Dr L.). — *Manuel de la ventilation des mines. Atmosphère des mines. Grisou. Production et répartition du courant d'aérage. Ventilation des travaux. Éclairage des mines. Explosions de grisou et incendies miniers. Appareils de sauvetage*, par Jaroslay Jicinsky. Traduit d'après la quatrième édition allemande, par le Dr L. Gautier (in-8°, 250 × 160 de III-362 p. avec 254 fig. et 2 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1905. (Don de l'éditeur.) 43892

Mahler (P.). — *Expériences sur la résistance électrique de l'acier*, par P. Mahler (Extrait de la Revue de Métallurgie. Vol. II. N° 5. Mai 1905, pages 345 à 347 format in-4°, 270 × 220). (Don de l'auteur, M. de la S.) 43861

Schmidt (E.). — *Le travail du fer et de l'acier à la température critique*, d'après un récent mémoire de MM. Olry et Bonet, par M. E. Schmidt. (Extrait du Bulletin Novembre-Décembre de la Société industrielle d'Amiens) (Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise) (in-8°, 275 × 180 de 39 p. avec 7 fig.). Amiens, T. Jeunet, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43875

Vogel (O.). — *Jahrbuch für das Eisenhüttenwesen* (Ergänzung zu « Stahl und Eisen ») Ein Bericht über die Fortschritte auf allen Gebieten des Eisenhüttenwesens im Jahre 1900 und 1901. Im Auftrage des Vereins deutscher Eisenhüttenleute bearbeitet von Otto Vogel. *I. Jahrgang und II Jahrgang* (2 vol. in-8°, 245 × 160 de XVI-460 p. et de XVI-464 p.). Dusseldorf, A. Bagel. 1903. (Don de M. A. Gouvy, M. de la S.) 43863 et 43864

## Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Bates (L. W.). — *Project of terminal Harbors for the Panama Canal*, by Lindon W. Bates. With general Plans and sections showing Proposed Canal terminals, town, sites, locks, barrages, outer and inner harbors and naval stations, Panama and limon bays (in-4°, 280 × 215 de 27 p. avec 1 photog. et 4 pl. en couleurs). 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 43876

## Physique.

Rinne (F.), Pervinquière (L.), Lapparent (A. de). — *Le microscope polarisant. Guide pratique pour les études élémentaires de cristallographie et d'optique*, par F. Rinne. Traduit et adapté aux notations françaises, par L. Pervinquière, avec une Préface de A. de Lapparent (in-18, 190 × 130 de VI-160 p. avec 212 fig.). Paris, F.-R. de Rudeval, 1904. (Don de M. J. Bergeron, M. de la S. de la part de l'éditeur.) 43893

## Routes.

*Nivellement général de la France. Répertoire des emplacements et altitudes des repères. Réseau de troisième ordre. Lignes comprises dans les zones A et N, 1er et 2e fascicules; les polygones C' 1er fascicule; G' 1er et 2e fascicules; H' 2e fascicule; J' 4e fascicule; L, 1er et 2e fascicules; W, 1er et 2e fascicules* (12 fascicules in-8°, 270 × 180). Nantes, Imp. M. Schwob et Cie, 1904. (Don de M. Ch. Lallemand.) 43814 à 43855

## Sciences mathématiques.

BUSQUET (R.). — *Précis d'hydraulique. La houille blanche,* par Raymond Busquet (in-18, 180 × 105 de VIII-375 p. avec 49 fig.) (Encyclopédie industrielle). Paris, J.-B. Baillière et fils, 1905. (Don de l'éditeur.) 43860

COUTURAT (L.). — *L'algèbre de la logique,* par L. Couturat (Scientia. Mars 1905. Série physico-mathématique. N° 24) (in-8°, 200 × 130 de 100 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1905. (Don de l'éditeur.) 43887

GRECO (M.). — *Determinazione grafica diretta dell'asse neutro della sezione di una trave in cemento armato soggetta a flessione retta composta.* Nota dell'Ing. M. Greco (Estratto dal Periodico l'Ingegneria Civile e le Arti industriali. Anno XXX. Fasc. XIV) (in-8°, 245 × 155 de 12 p. avec 1 pl.). Torino, Tipografia Eredi Botta, 1905. (Don de l'auteur.) 43869

GRECO (M.). — *Sul calcolo della sezione e delle armature di una trave in cemento armato sottoposto a flessione retta semplice.* Nota dell'Ing. Michele Greco (Accademia Reale delle Scienze di Torino. Anno 1904-1905) (in-8°, 250 × 160 de 26 p. avec 8 fig.). Torino, Carlo Clausen, 1905. (Don de l'auteur.) 43870

## Sciences morales. — Divers.

*Denis Poulot. Notice nécrologique.* (Extrait du Bulletin administratif de la Société des anciens Élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers. Avril 1905) (in-8°, 215 × 135 de 11 p.). Paris, Imprimerie Chaix, 1905. (Don de MM. Poulot fils, M. de la S.) 43868

## Technologie générale.

*Anales de la Asociacion de Ingenieros y Arquitectos de Mexico. Tomo XII* (in-8°, 230 × 155 de 343 p. avec fig. et pl.). Mexico, Imprenta y Fototipia de la Secretaria de Fomento, 1904. 43890

*Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CLIX. 1904-5. Part. I* (in-8°, 215 × 135 de VII-478 p. avec 6 pl.). London, Published by the Institution, 1905. 43865

Rodier (H.). — *Annuaire technique. Formulaire Aide-mémoire général des sciences, de l'industrie et des travaux publics*, rédigé par un Comité d'Ingénieurs, Architectes, Constructeurs, Industriels et Jurisconsultes, sous la direction de M. Rodier. *Traction sur routes. Automobiles. Théorie. Construction. Véhicules industriels.* Fascicules mensuels nos 6, 7 et 8 (3 fascicules in-8°, 315 × 230 à 2 col. de 177 p. avec 282 fig.). Paris, 64, Rue de la Victoire, 1905. (Don de l'auteur.) 43857 à 43859

*Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. LIV Part. A. B. C. D. International Engineering Congress held under the auspices of the Society St-Louis, Mo. October 3d. to 8th. 1904* (4 volumes in-8°, 230 × 150). New-York, Published by the Society, 1905. 43840 à 43843

*Transactions of the American Society of Civil Engineers Vol. LIV. Part. E. International Engineering Congress held under the auspices of the Society St-Louis. Mo. October 3d. to 8th. 1904* (in-8°, 230 × 150 de 617 p. avec 17 pl.). New-York, Published by the Society. 1905. 43878

*Transactions of the Engineering Society of the School of Practical Science. Toronto. N° 17, 1903-1904* (in-8°, 220 × 150 de 190 p.). Toronto, The Carswell Company Limited, 1904. 43862

**Travaux publics.**

*Annual Reports of the War Department for the fiscal year ending June 30. 1904. Report of the Chief of Engineers. Vol. V, VI, VII, VIII. IX. Part. 1, 2, 3, 4, and Supplement* (5 vol. in-8°, 235 × 145). Washington, Government Printing Office, 1904. (Don de M. D. Bellet, M. de la S.) 43881 à 43884

Franche (G.). — *Habitations à bon marché. Éléments de construction moderne*, par G. Franche (in-8°, 210 × 135 de 513 p. avec 614 fig. Paris, Vve Ch. Dunod 1905. (Don de l'éditeur.) 43896

Hénard (E.). — *Études sur les transformations de Paris*, par Eug. Hénard *Fascicule 6. La circulation dans les villes modernes. L'automobilisme et les voies rayonnantes de Paris* (in-8°, 240 × 155, pages 185 à 236 avec 8 pl.). Paris, Librairies-Imprimeries réunies, 1905. (Don de l'auteur.) 43873

# MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de juin 1905, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM.

| | | | |
|---|---|---|---|
| X. | Aubert, | présenté par MM. | Jacques, Japy, Louyot. |
| Ch.-E. | Charlon, | — | H. André, Boussiron, Faivre. |
| D.-C. | Comberousse, | — | Coiseau, Hillairet, Delloye. |
| H.-A. | Dide, | — | Brüll, Hermann, Seyrig. |
| H. | Jubeau, | — | Bernard, A. Bougault, Nativelle. |
| E.-O. | Lambert, | — | Bouzanquet, Escande, Glaizot. |
| E.-L. | Leblanc, | — | E.-J. Barbier, Chalon, de Dax. |
| L.-H.-G. | Lhoest, | — | Bihet, Lesourd, Vinçotte. |
| G. | Marichal | — | Auderut, Macaire, Macdonald. |
| E.-E. | Rivière, | — | Belmère, Cornesse, L. Joubert. |
| A. | Roudy, | — | Brüll, Hermann, Seyrig. |

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM.

| | | | |
|---|---|---|---|
| R.-E. | Arrault, | présenté par MM. | Bergeron, Bouzanquet, L. Escande. |
| E. | Borgel, | — | Brüll, Hermann, Seyrig. |
| P.-P. | Corbin, | — | Coiseau, Hillairet, Goldsmith. |

Comme Membres Associés, MM.

| | | | |
|---|---|---|---|
| L.-L. | Gugenheim, | présenté par MM. | Bœringer, Ducomet, Colombier. |
| L.-G. | Mélin, | — | P. Barbier, Egrot, A. Lecomte. |

# RÉSUMÉ

DES

# PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUIN 1905

---

## PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 2 JUIN 1905

Présidence de M. L. Coiseau, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaitre le décès de MM.:

Charles Desouches, Membre de la Société depuis 1891, chevalier de la Légion d'honneur, fabricant d'agglomérés;

Émile Franck, Membre de la Société depuis 1897, Ingénieur chimiste;

H. Lecouteux, Membre de la Société depuis 1870, chevalier de la Légion d'honneur, ancien constructeur mécanicien;

V.-A. Thirion, Membre de la Société depuis 1897, manufacturier, fabricant d'objets en bois;

A. Bœuf, Membre de la Société depuis 1904, administrateur directeur techniqué de la Compagnie générale pour le développement de l'industrie minière en Valais (Suisse);

enfin, celui de M. Francisque Reymond, notre ancien Président. ancien Elève de l'École centrale (1852), Membre de la Société depuis 1858, Officier de la Légion d'honneur, Sénateur, ancien Député, ancien Conseiller général de la Loire, ancien Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures, Membre du Conseil supérieur du Commerce, de la Section permanente du Comité consultatif et du Comité de l'Exploitation Technique des Chemins de fer, du Conseil supérieur de l'Enseignement Technique, du Comité consultatif de Navigation, du Conseil supérieur du Travail, du Conseil d'administration du Conservatoire des

Arts et Métiers, Président de la Commission Technique des Brevets d'Invention et des Marques de fabrique, Membre de notre Comité de 1883 à 1887, Président en 1888.

M. Reymond était tellement connu de tous qu'il est inutile de rappeler ici ses titres d'Ingénieur. Toujours dévoué à la Société, on était sûr, en toutes circonstances, lorsqu'on faisait appel à lui, de trouver le dévouement le plus complet et le concours le plus absolu. Sa mort laissera parmi nous un vide profond et les regrets qu'exprime M. le Président seront certainement partagés par tous les Membres de la Société.

M. le Président adresse aux familles de nos Collègues décédés, et, en particulier, à celle de M. Reymond, l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société tout entière.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance.

Cette liste sera insérée dans le plus prochain Bulletin.

M. le Président fait connaître que le Comité a désigné pour être délégués à divers Congrès indiqués ci-après les Membres de la Société dont les noms suivent :

1° Au Congrès National de la Propriété industrielle, organisé par l'Association française pour la Protection de la Propriété Industrielle et qui aura lieu à Angoulême et à Cognac du 11 au 13 juin courant : MM. Bert et Jannettaz ;

2° Au quatrième Congrès International de l'Acétylène, qui aura lieu à Liège les 17, 18 et 19 juillet : M. Fouché ;

3° Au Congrès International des Mines, de la Métallurgie, de la Mécanique et de la Géologie appliquées, qui se tiendra à Liège, du 26 juin au 1er juillet : MM. H. Couriot, ancien Président de la Société et M. A. de Gennes ;

4° Au Congrès International de Navigation Maritime et Fluviale qui se tiendra, à Milan, du 25 au 30 septembre prochain : M. A. de Bovet.

M. le Président demande si personne n'a d'autre candidature à faire connaître.

Les désignations faites par le Comité sont approuvées et aucune autre candidature n'est proposée.

M. le Président fait connaître que le Comité, dans sa séance de ce jour, a décidé la suppression de la séance du 21 juillet, qui coïnciderait presque avec le départ pour Bruges. Aucune communication n'était, d'ailleurs, inscrite pour cette date.

Cette décision est approuvée.

M. P. Prache a la parole pour sa communication sur *les Fondations isolantes Anthoni-Prache contre les bruits et les trépidations*.

M. P. Prache définit d'abord les différentes sortes de vibrations : les trépidations et les bruits, que M. Anthoni a divisés eux-mêmes en deux classes suivant leur mode de transmission. La distinction entre ces bruits ne peut être faite par l'oreille : la recherche de leur origine peut

seule donner des renseignements sur leur mode de transmission qu'il importe de connaître. L'interposition d'obstacles atténue les bruits transmis par l'air; les fondations isolantes suppriment la transmission par le sol des bruits et des trépidations.

Les différentes matières dites isolantes sont ensuite passées en revue et M. Prache montre que le caoutchouc seul possède les trois qualités nécessaires : homogénéité, durée et élasticité suffisante (qui est environ vingt fois plus grande que celle de l'acier).

Résumant ensuite une partie de sa communication du 27 mai à l'Association internationale des Méthodes d'essais des matériaux de construction, au sujet des déformations élastiques du caoutchouc, il montre : 1° que la constance du volume paraît être la caractéristique des déformations purement élastiques; 2° que le module d'élasticité peut être défini : le rapport de la variation de force à la variation de section perpendiculaire à la force; 3° que la formule pratique de déformation pour les bonnes qualités travaillant de la moitié au double de la longueur initiale est : $F = E (S_0 - S)$; 4° enfin que, pour les grandes déformations, si l'on se met à l'abri des phénomènes secondaires dus à l'influence du temps, des déformations permanentes, etc., que si, de plus, on prend pour coordonnées les forces par unité de section initiale et les sections, la courbe obtenue est une hyperbole, courbe représentative de degré moindre que celle obtenue habituellement en portant l'allongement en ordonnée, et qui permet des conclusions intéressantes.

La relation ci-dessus permet d'établir la formule de la vitesse de propagation. On trouve que cette vitesse, dans le caoutchouc, peut être amenée à n'être que de quelques mètres par seconde.

De la grande différence entre les vitesses de propagation dans le caoutchouc et dans les autres solides, il résulte, d'après la théorie de Fresnel, que l'intensité du rayon réfracté est sensiblement nulle et qu'il y a réflexion totale quand la vibration tend à passer du caoutchouc dans le sol : c'est là l'explication théorique du succès constant des fondations isolantes Anthoni-Prache.

Une série de projections termine cette communication, dont le mémoire sera publié dans le Bulletin :

C'est d'abord celle d'une attache isolante qui simplifie le procédé et permet d'en diminuer le prix.

Puis, des installations : un balancier de 10 000 kg, établi dans le plus riche quartier de Paris. Les voisins déclarent ne plus entendre le bruit de cet appareil qui fonctionne à quelques mètres de leur hôtel.

Deux groupes électrogènes 125 et 60 HP, en service toutes les nuits dans un riche quartier, sans inconvénients, alors que l'une des machines ne pouvait être mise en service même au milieu du jour lorsqu'elle était montée sur une matière dite isolante.

Des moteurs à gaz : un de 25 ch mis en marche sans que les voisins plaignants s'en soient aperçus (ce n'est pas le seul exemple); un plus petit fonctionnant en étage immédiatement au-dessus du voisin plaignant, après procès.

Enfin, un type de billot isolant pour enclume, qui a déjà fait cesser plusieurs procès à Paris et en province.

M. le Président demande si l'on doit bien comprendre que dans le cas d'un pilon dont il a été parlé, tous les bruits avaient disparu, non seulement celui résultant du coup sur la masse, sur l'enclume, mais encore celui du métal qui est frappé. Il pense que le nombre des installations faites à Paris doit être considérable.

M. P. Prache répond qu'une seule exception doit être faite au sujet d'un martinet de 50 kg installé à Bordeaux, dans une rue très étroite. Le bruit était perçu à travers les vitres, mais s'il y avait eu un mur mitoyen, on n'aurait rien entendu. Il cite l'exemple d'un marteau à battre les cuirs, sur une enclume de 120 mm de diamètre, frappant 150 coups par minute. De l'autre côté du mur mitoyen était un enfant couché et malade. Après installation de cette machine sur fondations isolantes, M. Anthoni et M. Prache se sont rendus dans l'appartement voisin où il leur a été dit que depuis trois jours on n'avait pas entendu la machine; on ne voulait pas croire qu'elle fût en marche.

Les résultats sont donc parfaits; mais la transformation est coûteuse, aussi ne la fait-on généralement qu'en cas de procès.

M. Anthoni ajoute que les bruits directs ne s'entendent pour ainsi dire jamais, derrière un gros mur; ce qu'on entend, ce sont les bruits indirects; les exceptions sont très rares.

M. le Président remercie M. P. Prache pour sa communication susceptible d'intéresser un grand nombre de Membres de la Société.

M. L. Rith a la parole pour sa communication sur les *Regulateurs à force centrifuge; remarques générales sur leur stabilité et sur leur réglage.*

M. L. Rith expose qu'on ne peut fixer *a priori*, avec précision, les meilleures données d'établissement d'un régulateur, au moins d'un régulatour à action directe; aussi est-il nécessaire d'effectuer un réglage de cet appareil. Le procédé le plus pratique consiste à ajouter, sur les leviers qui transmettent le mouvement du manchon, un effort supplémentaire variant suivant une loi déterminée. L'influence de cet effort sur les propriétés du régulateur peut être mise en évidence par un diagramme obtenu en portant en abscisses les carrés de la vitesse de rotation, et en ordonnées les efforts qu'il faudrait appliquer au manchon pour le maintenir dans une position donnée. Ce diagramme, qui se compose de quelques droites, montre de suite les diverses propriétés du régulateur; il montre aussi comment ces propriétés sont modifiées par l'introduction d'un effort quelconque. Sa détermination, pratique ou théorique, n'offre pas de difficulté.

La stabilité d'un régulateur ne peut être convenablement évaluée sans tenir compte des effets d'inertie: deux régulateurs sont également stables, si, conduits par un même moteur dont la vitesse varie d'une manière quelconque, les déplacements du manchon ne cessent pas de se correspondre exactement. Partant de cela, on peut calculer une expression générale du coefficient de stabilité et lire ce coefficient lui-même sur le diagramme. On en déduit la durée des oscillations propres du régulateur. Si cette durée est voisine de la période du moteur ou qu'elle en soit un multiple ou sous-multiple exact, le phénomène

des oscillations rythmées tendra à augmenter de plus en plus l'amplitude des oscillations. M. Rith pense que c'est là une cause fréquente de mauvais fonctionnement. Il examine ensuite l'effet des amortisseurs et du frottement. Au sujet des régulateurs isochrones, il rappelle en quelques mots leurs inconvénients et établit leur coefficient de stabilité.

Les régulateurs instables fonctionnent par mouvements brusques, comme les régulateurs isochrones, mais en laissant un intervalle plus ou moins grand entre la vitesse de montée et la vitesse de descente ; ils pourraient être employés avec avantage dans certains cas. Au point de vue du réglage, ils peuvent être rendus isochrones ou stables et voisins de l'isochronisme, plus facilement que les régulateurs stables eux-mêmes. Les régulateurs sont souvent en partie stables et en partie instables : le diagramme montre comment se produit cette instabilité partielle et ce qu'il faut faire pour y remédier.

M. Rith parle de procédés de réglage et de divers dispositifs servant soit à régler l'isochronisme et la stabilité, soit à changer aussi la vitesse de régime. Il examine comment se comportent les régulateurs des principaux types à ce dernier point de vue, puis recherche les régulateurs qui permettent un réglage aussi facile, aussi complet et aussi précis que possible et montre les dessins de trois de tels appareils.

La communication se termine par deux notes, l'une relative à un procédé optique de mesure des vitesses de rotation, l'autre à un abaque pour un choix facile des ressorts en hélice, dont l'emploi est presque imposé dans les dispositifs de réglage.

M. le Président remercie M. L. Rith de sa communication. Elle sera insérée dans le Bulletin et sera consultée avec intérêt.

M. Teisset a la parole pour sa communication sur l'*Enrouleur de courroies « Le Lénix »*.

M. Teisset fait connaître le développement qu'a pris depuis trois ans la transmission par courroies munies du système d'enrouleur de M. le Capitaine Leneveu.

Il expose d'abord les inconvénients des transmissions ordinaires par lien flexible dans lesquelles il est nécessaire de donner une tension assez considérable souvent quatre à cinq fois supérieure à l'effort tangentiel à transmettre. Cette tension nécessite l'emploi d'organes plus forts qu'il ne serait nécessaire et détermine des efforts de frottement considérables sur les paliers ; de plus, pour maintenir cette tension, nécessité de retendre souvent les courroies et malgré cela on a toujours des pertes dues au glissement.

Enfin l'arc embrassé, qui est parmi les éléments servant à calculer les courroies le plus important, oblige souvent à n'avoir que de faibles multiplications de vitesse et entraine à l'emploi de transmissions intermédiaires, coûteuses, gênantes et perdant en frottements inutiles une force importante. Il en résulte aussi un encombrement souvent dispendieux.

Au contraire l'emploi de l'Enrouleur de M. le Capitaine Leneveu, appelé « Lenix », supprime la plupart de ces inconvénients.

Le principe découvert par M. le Capitaine Leneveu consiste à enrouler

les courroies sur les trois quarts de la circonférence des poulies au moyen d'un ou deux galets. Il en résulte qu'en donnant à l'arc embrassé une surface beaucoup plus considérable qu'autrefois, puisque lorsque l'angle d'enroulement augmente en progression arithmétique le frottement croît en progression géométrique, l'adhérence de la courroie devient telle que le galet placé pour maintenir l'enroulement n'a besoin que d'une pression très faible, variant entre 1/10 et 1/80e de l'effort tangentiel.

Il en résulte que la tension du brin mou devient nulle ou presque nulle et que, la tension initiale ayant disparu, les organes de la transmission, y compris la courroie elle-même, n'ont plus besoin d'être calculés pour des efforts cinq et six fois plus forts que l'effort à transmettre, mais seulement pour le double de cet effort si l'on veut garder par devers soi toute la sécurité possible et tenir compte des efforts de démarrage et des à-coups qui peuvent se produire dans la marche.

Dès lors, économie considérable de frottement dans les paliers, on gagne 5 à 10 0/0 de la force motrice; on peut avoir dans les transmissions des rapports allant jusqu'à 1/30 et cela sans glissement, il devient inutile de se préoccuper de la distance des axes qui peut être quelconque, ce qui permet de réduire l'encombrement et le coût de l'installation au minimum; enfin, les transmissions par courroies verticales deviennent très avantageuses et permettent le débrayage et l'embrayage commode par le simple soulèvement ou abaissement des galets.

Ces avantages s'appliquent aussi aux transmissions à courroies demi croisées.

M. Teisset fait passer sous les yeux de l'auditoire une série de clichés donnant les dispositions schématiques des anciennes transmissions et des transmissions Leneveu, il montre au moyen d'instantanés combien ce système atténue les fouettements du brin mou en paralysant le mauvais effet de la force centrifuge. L'air ne peut plus s'introduire entre la poulie et la courroie et l'adhérence reste toujours complète.

Le « Lénix » se compose d'un bâti formé d'une ou deux flasques oscillant autour de la poulie la plus petite et portant deux paliers du système breveté de M. le Capitaine Leneveu. Ces paliers assurent la lubréfaction de l'arbre en chacun de ses points et permettent des vitesses excessives au galet sans échauffement.

Ces paliers s'emploient avec le même succès comme moyeu de poulies folles,

M. Teisset fait alors la description de quelques applications intéressantes en donnant pour quelques-unes d'entre elles les calculs des frottements dans le cas ordinaire et dans le cas Leneveu, il donne aussi les dimensions des courroies dans les deux cas, suivant le mode de calcul habituel pour le premier cas et il démontre que la courroie Leneveu est au plus le tiers de la courroie habituelle.

Ces courroies se font en cuir souple de bonne qualité en jonctions collées sans surépaisseur; on peut de même employer des courroies de toutes natures, à condition d'éviter une surépaisseur à la jonction. Il y a quelques applications de courroies Balata se comportant bien.

Enfin, M. Teisset présente quelques spécimens des enrouleurs les plus usuels qu'il fabrique à Passy et des types de poulies folles Leneveu.

M. A. Bochet croit devoir faire remarquer que rien dans la disposition de M. Leneveu, dont il comprend du reste très bien les propriétés et les qualités, n'est en dehors des règles enseignées depuis longtemps au sujet des transmissions par courroies, qu'on doit notamment, dans ce système comme dans les autres, tenir compte des effets de la force centrifuge qu'il ne fait pas disparaître.

D'autre part, il a été dit que lorsque l'arc d'enroulement atteint 270 le galet-tendeur semble prendre une stabilité particulière; cela paraît extraordinaire. Il faut entendre probablement que cette position de stabilité est spéciale aux courroies en cuir et qu'avec d'autres matières, avec le caoutchouc, par exemple, on aurait un résultat différent.

M. J. Teisset remercie M. Bochet de ses observations et de ses interprétations qui sont très justes.

M. P. Regnard remarque que les courroies sont, avec les dispositifs qui viennent d'être décrits, enroulées alternativement dans un sens sur les poulies et dans le sens contraire sur les galets-tendeurs qui sont relativement de très petit diamètre; ces courroies doivent fatiguer sensiblement dans de pareilles conditions; il doit y avoir aussi une perte de force appréciable résultant de la raideur des courroies. Il demande si dans ces conditions on peut faire usage de courroies épaisses?

M. J. Teisset répond qu'en effet il y a difficulté à employer des courroies épaisses et qu'on en trouve peu d'applications. Pour ce qui concerne la perte de force, il expose qu'il n'y a pas de travail notable à exercer pour incurver la courroie parce que, dans la partie où l'on produit cette incurvation, la courroie est très peu chargée.

M. A. Brancher signale qu'on aurait employé en Amérique, pour obtenir le même résultat qu'avec l'enrouleur Leneveu, un dispositif à deux courroies superposées : une courroie très large dont l'enroulement serait obtenu au moyen d'une courroie très légère. Il demande si quelqu'un ne possèderait pas de renseignements à ce sujet.

M. J. Teisset ne connaît pas ce dispositif.

M. A. Hillairet rappelle que dans des installations provisoires comme les expositions il arrive qu'à cause du manque de place on commande deux machines, deux dynamos, par exemple, au moyen de deux courroies enroulées et superposées sur la même poulie.

M. A. Brancher dit que tel n'est pas le système au sujet duquel il aurait désiré avoir des renseignements. Il ne connaît ce dernier que par une note très succincte parue dans le *Génie Civil*. Le système américain dont il parle, ne date réellement que de cinq années seulement; il aura prochainement l'occasion de donner à ce sujet des renseignements les plus complets.

M. le Président remercie M. J. Teisset de sa communication sur *le système Leneveu*, très ingénieux et déjà connu de la plupart des membres de la Société, mais les détails exposés par M. J. Teisset sont très intéressants.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. Ch.-E. Charlon, O.-E. Lambert, E.-L. Leblanc, L.-H.-G. Lhoest, G. Marichal, comme Membres Sociétaires Titulaires, de :

M. R. Arrault, comme Membre Sociétaire Assistant, et de :

MM. L.-G. Mélin, L.-L. Gugenheim, comme Membres Associés.

MM. X.-P. Aubert, D.-C. Comberousse, H.-A. Dide, H. Jubeau, E.-E. Rivière, A. Roudy, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires, et :

MM. E. Borgel et P.-P. Corbin comme Membres Sociétaires Assistants.

**La Séance est levée à onze heures.**

*L'un des Secrétaires Techniques,*
H. Dufresne.

---

# PROCÈS-VERBAL

DE LA

## SÉANCE DU 16 JUIN 1905

Présidence de M. L. Coiseau, Président

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

L.-F. Lantillon, Membre de la Société depuis 1893, Ingénieur Directeur des Mines de la Kopper Maatschappy Sevilla, à Séville;

E.-G. Lussy, Ancien Élève de l'École Centrale (1883), Membre de la Société depuis 1897, Entrepreneur de travaux publics, concessionnaire et constructeur de divers chemins de fer secondaires en Suisse, Administrateur Directeur de la Compagnie des Chemins de fer Franco-Portugais.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société tout entière.

M. le Président a le plaisir de faire connaître les décorations et nominations suivantes :

M. E. Bricq a été nommé Officier d'Académie;

MM. L. Coiseau, L. Boudenoot, G. Denis, A. Poirrier, Ch. Prevet, E. Charruyer, J. Plichon, A. Dreux, A. de Bovet, J. Fleury ont été nommés Membres du Comité consultatif de la Navigation intérieure et des Ports.

M. le Président adresse à ces Collègues les félicitations de la Société tout entière.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un des prochains Bulletins.

M. le Président fait connaître que le Comité a décidé, dans sa séance de ce jour, d'ajouter aux noms de MM. H. Couriot et A. de Gennes celui de M. A. Gouvy comme Délégué au Congrès des Mines et de la Métallurgie, de Liège.

M. le Président fait également connaître que le Comité vient de désigner aussi MM. E. Lippmann Ancien Président, A. Blazy et H. Neuburger comme Délégués de la Société au Congrès international du Pétrole, qui doit se tenir à Liège du 26 juin au 1er juillet 1905.

M. le Président rappelle que c'est dans la séance de ce soir que doivent être proclamés les noms des Lauréats des prix divers que la Société doit décerner cette année, savoir :

*Prix Annuel ;*

*Prix Couvreux;*

*Prix Giffard* de 1902 prorogé en 1905; et

*Prix Giffard* de 1905.

Le *Prix Annuel* a été décerné *ex-æquo* :

A M. Alphonse Tellier, pour ses travaux sur la navigation automobile et plus spécialement pour son mémoire sur *les Canots automobiles à grande vitesse*, paru dans le *Bulletin* d'octobre 1904,

Et à M. Jean Rey, pour son mémoire sur *les Turbines à vapeur en général et plus particulièrement sur les turbines du système Rateau et leurs applications*, paru dans le *Bulletin* d'avril 1904.

M. le Président félicite les deux Lauréats, dont les mérites connus de tous appellent les plus grands éloges. M. A. Tellier a une grande réputation dans le monde de la Navigation automobile, où ses succès ne se comptent plus. Attaché aux ateliers de son père depuis 1894, il s'est toujours occupé de la construction des bateaux rapides, puis, quand apparut la navigation automobile, il fit surtout l'étude et créa de nombreuses embarcations à pétrole. Tout le monde a en mémoire le nom de ses racers. M. le Président est certain que M. A. Tellier saura profiter des enseignements tirés des derniers concours, et qu'il ne manquera pas de nous montrer de nouveaux bateaux, capables de résister à toutes les épreuves.

M. J. Rey, Ingénieur civil des Mines, est attaché, depuis 1888, à la direction de la maison Sautter et Harlé. Travailleur infatigable, il a donné de nombreuses preuves de son érudition, et a publié de nombreux travaux : en 1895, *Notice sur les Feux éclairs*; en 1901, *Notice sur l'Éclairage à incandescence dans les Phares;* puis, des communications importantes ont été faites par lui à l'Académie des Sciences, à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, aux Annales des Mines, à la Société des Électriciens, etc. Partout il s'est prodigué, et partout il a fait apprécier son savoir et sa science. Son dernier mémoire sur *les*

*Turbines à vapeur en général et plus particulièrement sur les Turbines Rateau* est un exposé remarquable de la question, et la Société a été des plus heureuses de récompenser ce travail.

Le *Prix Alphonse Couvreux* a été décerné à M. F. Arnodin, pour l'ensemble de ses travaux sur *les Ponts transbordeurs*, et plus spécialement pour son mémoire sur les *Câbles témoins*, paru dans le *Bulletin* de mars 1903.

M. le Président est heureux d'adresser les félicitations de la Société et les siennes personnelles au Lauréat, qui était on ne peut mieux désigné pour cette récompense. En effet, la longue carrière et les travaux importants de M. F. Arnodin sont connus de tous.

En 1867, M. Arnodin fut nommé Inspecteur des ponts suspendus de la Société générale des Ponts à péage, et c'est dans ces fonctions que sa réputation commença à se faire jour. Il fut le véritable sauveteur de ces ponts, et partout où quelque danger menaçait un de ces ouvrages, on faisait appel à M. Arnodin, qui sut toujours mener à bonne fin les tâches les plus difficiles.

C'est en procédant au sauvetage des ponts suspendus qu'il reconnut leurs défauts de construction, et c'est en tenant compte de toutes ces remarques qu'il réussit à faire le pont suspendu moderne, qui présente toutes les qualités de résistance et de sécurité désirables. Ces procédés sont actuellement employés dans le monde entier.

C'est à lui que nous devons également les ponts transbordeurs, qui font l'admiration de tous les Ingénieurs, et qui sont représentés, en France, par les ponts de Rouen, Rochefort, Nantes, et, à l'étranger, par ceux de Bilbao, Bizerte, Newport-mont, en Angleterre; les plans des ponts de Runcorn (Angleterre) et de Duluth (Amérique) ont été fournis par lui. Enfin, si ces ponts transbordeurs sont remarquables par leur légèreté, les moyens employés pour leur construction ne le sont pas moins : aujourd'hui on peut voir, au pont transbordeur en construction à Marseille, des parties de tablier pesant jusqu'à 10 t élevées et mises en place à l'aide de l'appareil, composé de simples câbles, inventé et appelé par M. Arnodin le télécharge.

Le travail de M. Arnodin est considérable; notre Société est heureuse de lui décerner aujourd'hui le prix A. Couvreux.

M. le Président est sûr d'être l'interprète de la Société tout entière en adressant à nouveau à M. Arnodin les plus chaleureuses félicitations.

Le *Prix Giffard* 1902, prorogé 1903, et le Prix Giffard de 1903, avaient pour sujets : le premier, *les Machines agricoles et leur construction en France*, le second, une *Étude sur les applications de la vapeur surchauffée*.

Le Jury de ces prix s'est réuni, le 24 février dernier, mais n'a pu procéder à leur attribution, aucun mémoire, en effet, n'ayant été déposé au 31 décembre 1904.

En conséquence, le Jury, conformément au Règlement et aux précédents, a décidé :

1° En ce qui concerne le Prix Giffard 1902, prorogé 1903 : ce prix ne sera pas prorogé de nouveau, et le montant, s'élevant à la somme de 3000 f, sera, conformément aux précédents, affecté au fonds de secours;

2° En ce qui concerne le Prix Giffard 1903 : ce prix sera prorogé pour

1908, et il sera demandé à la Commission chargée de déterminer le sujet de concours du Prix 1908, de conserver le même sujet pour le Prix 1905 prorogé 1908.

A ce sujet, M. le Président dit qu'il doit, dans la séance de ce jour, faire connaître que le Comité, dans sa réunion du 5 mai, conformément au Règlement des Prix Giffard, a nommé, comme membres de la Commission chargée de déterminer le sujet de concours du Prix Giffard 1908, nos anciens Présidents, MM. H. Couriot et A. Loreau.

Cette Commission, composée du Président, du Vice-Président, des six Présidents de Section, et des deux anciens Présidents ci-dessus désignés, se réunira en temps utile pour fixer le sujet de concours, qui sera porté à la connaissance de la Société dans le courant du mois de décembre, conformément au Règlement des Prix.

M. Quinette de Rochemont, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur des Phares et Balises, que la communication de M. A. de Bovet intéresse particulièrement, a bien voulu honorer de sa présence la séance de ce jour. M. le Président l'en remercie et l'invite à prendre place au bureau.

M. Ch. Compère a la parole pour sa communication sur *les applications de la vapeur surchauffée*.

M. Ch. Compère expose tout d'abord que la surchauffe est suffisamment connue maintenant et qu'il n'a pas l'intention de revenir sur la théorie de la surchauffe et sur la description des appareils; il ne peut parler que de la mise au point des applications industrielles.

Il rappelle que la surchauffe ne diminue la consommation de vapeur que par la réduction des condensations à l'intérieur du cylindre; le chiffre trouvé le plus bas parmi ceux publiés a été de 4,49 kg de vapeur par cheval-heure pour une machine de 300 ch marchant en vapeur surchauffée à 300 degrés.

Si de tels chiffres ne sont pas toujours obtenus, c'est qu'il y a souvent défaut de liaison entre les divers éléments du cycle à vapeur surchauffée : chaudière, machine, surchauffeur et conduite.

Avant d'étudier ces divers éléments, M. Compère précise qu'il est regrettable de ne songer à la surchauffe dans les machines neuves que pour corriger la consommation trop forte dans le cylindre à vapeur proprement dit; il faut d'abord que les études des constructeurs tendent à créer le type de cylindre consommant le moins possible de *vapeur saturée*. C'est alors qu'il présente des essais très importants entrepris, en 1904, par la maison Weyher et Richemond sur une machine monocylindrique ayant marché à vapeur saturée et à vapeur surchauffée : en vapeur saturée, cette machine de 140 ch n'a consommé que 6,65 kg à la pression de 7 kg ; en vapeur surchauffée, la consommation s'est abaissée à 5,865 kg ; la vapeur saturée était produite par une chaudière à foyer intérieur amovible et la vapeur surchauffée par une chaudière semi-tubulaire; le rendement moindre de cette dernière a fait qu'en charbon, la seule consommation intéressante, la dépense a été de 0,843 kg en vapeur saturée et 0,902 kg, soit un chiffre supérieur, en vapeur surchauffée; c'est ce résultat qui a amené M. Compère à dire qu'avant

de compliquer l'installation par l'addition d'un surchauffeur, il faut d'abord choisir un type de chaudière de bon rendement. Les essais ont été faits avec la machine telle qu'elle était, c'est-à-dire avec enveloppe; ils ont été continués avec un nouveau cylindre sans enveloppe. Cette seconde série d'essais a montré qu'à surchauffe élevée, il est préférable de marcher sans enveloppe.

M. Compère résume ensuite plusieurs essais dans lesquels on a relevé des résultats très variables et même parfois négatifs.

Puis il parle des surchauffeurs proprements dits qui sont : soit à foyer indépendant, soit montés dans le fourneau même des chaudières. Malgré la dépense de charbon supplémentaire qu'il entraîne, le surchauffeur indépendant bien installé peut amener une réelle économie jointe à l'avantage d'une latitude plus grande dans la surchauffe; avec les autres surchauffeurs, l'installation est connexe de celle de la chaudière et celle-ci doit conserver son rendement.

M. Compère s'étend ensuite sur l'installation des conduites en vapeur surchauffée qui n'est pas suffisamment étudiée en pratique. Ces conduites sont plus sujettes aux refroidissements extérieurs; elles doivent être aussi courtes que possible, d'un diamètre plus faible qu'en vapeur saturée, être très bien entourées de calorifuge, aussi bien sur le corps même que sur les brides et les vannes.

M. Compère signale enfin les locomobiles à vapeur surchauffée Woolf qui constituent un bloc très intéressant et très économique.

Il termine en rappelant les conclusions de M. Vanderstegen dans le travail qu'il a publié au sujet des essais qui ont été entrepris dans les ateliers Van den Kerchove sur une machine à pistons-valves : « Dans les grandes installations, la surchauffe s'impose; par contre, si la machine est peu importante, si son régime est très variable et surtout si le personnel n'a pas la compétence voulue, bien souvent l'économie à faire ne vaut pas la peine de compliquer l'installation. »

M. le Président remercie M. Compère de son intéressante communication. Elle est de nature à encourager nos constructeurs de machines à vapeur, concurrencées par les machines à gaz. L'Allemagne nous envoie des machines Woolf à surchauffeurs qui donnent satisfaction. Il n'y a pas de raison pour que nos constructeurs restent en arrière.

M. A. de Bovet a la parole pour sa communication sur *les moyens de faire franchir les grandes chutes par les bateaux de navigation intérieure.*

M. A. de Bovet rappelle que, depuis longtemps, ce problème a donné lieu à de nombreux projets; mais que les applications sont encore en petit nombre. La question a été tout particulièrement étudiée en Autriche en vue de l'exécution des voies de communication entre le bassin du Danube et les fleuves de l'Allemagne du Nord.

Par exemple le canal devant relier le Danube à l'Oder, ayant 263 km de développement, comporterait, avec des hauteurs de chute de 5 m, 43 écluses et avec des hauteurs de chute variant de 15,20 m à 43,50 m, 7 gradins seulement.

Cette seconde solution serait de beaucoup préférable s'il existait des exemples des moyens d'élévation qu'elle nécessite. C'est pour provoquer

une nouvelle étude complète de cette question que le gouvernement autrichien avait ouvert un concours international dont les conditions principales étaient :

Différence de niveau des deux biefs à relier : 35.90 m ; dimension maxima des bateaux : 67 m sur 8,20 m ; tirant d'eau : 1,20 m ; inclinaison moyenne du terrain : 1/20.

198 projets furent présentés et 81 éliminés pour insuffisance. M. de Bovet passe en revue ceux dont le jury a eu à s'occuper.

1° *Élévateurs divers.* — Ce sont d'abord des dispositifs qui comportent un sas cylindrique flottant à la surface d'un grand puits ; ce sas une fois fermé peut, par la manœuvre de compartiments de water ballast, s'immerger et descendre jusqu'au bas du puits.

Ce sont ensuite des appareils dérivant des grandes roues (on en voit encore une à Paris) : avec deux sas qui s'équilibrent ; les uns effectuent une rotation complète, les autres, rachetant alors une hauteur moindre, une simple oscillation, le tout autour d'un axe placé au centre de figure et parallèle à la direction d'arrivée des biefs. D'autres auteurs placent l'axe près du sol, normal à la direction précédente, et portent un seul sas à la fois, équilibré par des contrepoids.

M. de Bovet donne ensuite quelques détails sur un autre appareil rotatif, grand tambour flottant déjà assez souvent décrit parce qu'il apporte une solution ingénieuse à une partie des difficultés mécaniques du problème.

Il signale un projet produit postérieurement au concours, dans lequel le sas est porté par une plaque tournante munie de chariots organisés pour rouler sur un rail hélicoïdal disposé sur la face intérieure d'une grande tour, quelque chose comme un plan incliné enroulé sur lui-même avec possibilité d'équilibrer autant que l'on veut les poids à soulever.

Il ne pense pas qu'aucun de ces systèmes soit susceptible de donner une solution générale et satisfaisante du problème.

2° *Ascenseurs verticaux.* — Les projets établis dans cet ordre d'idées n'ont guère fait que reproduire en les amplifiant — souvent en les compliquant — les dispositions déjà connues d'ascenseurs hydrauliques à flotteurs ou funiculaires. Leur adaptation au poids à soulever est facile : il semble, au contraire, bien douteux qu'on puisse pratiquement et sans trop de frais les établir pour des hauteurs notablement plus grandes que celles déjà pratiquées.

3° *Écluses.* — Laissant de côté les systèmes à caisses flottantes ou à flotteurs dissymétriques, M. de Bovet signale des projets très étudiés et très intéressants d'écluses à très hautes chutes avec nombreux bassins d'épargne ménagés dans le massif de béton armé qui entoure le sas. Trop coûteuses, s'il s'agit de très grandes hauteurs, ces dispositions semblent pouvoir être pratiquement utilisées pour des hauteurs dépassant beaucoup ce qu'on a franchi jusqu'ici au moyen d'écluses.

4° *Plans inclinés.* — Éliminant le cas du transport à sec qu'il ne croit pas applicable aux bateaux de navigation intérieure, et les dispositifs de plans à sommet, avec pente et contre pente, qui introduisent de grandes

difficultés du moment que le bateau doit être transporté flottant, M. de Bovet rappelle que les plans inclinés peuvent être longitudinaux ou transversaux.

Dans le projet autrichien, la pente étant de 1/20 à 1/25, avec voie d'environ 800 m, la préférence devait aller naturellement à un plan longitudinal.

M. de Bovet montre comment la conception qu'on est arrivé à se faire aujourd'hui d'un tel plan diffère des projets primitifs.

On conserve toujours un ensemble à deux voies avec deux chariots dont, en principe, l'un monte pendant que l'autre descend, mais on renonce à tout équilibrage mécanique, qui sur ces faibles pentes paraît apporter plus de complications que d'avantages.

L'indépendance des deux chariots donne toute facilité pour les manœuvres et la possibilité de ne pas arrêter complètement la circulation en cas d'avarie à un des appareils.

Les chariots sont actionnés par des moteurs électriques placés sur le chariot même, conduits par un conducteur placé lui aussi à bord. Le sas descendant est freiné par ses moteurs fonctionnant comme génératrices et fournissant ainsi une récupération de travail qui peut atteindre environ 45 0/0.

Sur ces très faibles pentes on peut marcher par adhérence : il semble préférable, plus sûr en tous cas, d'avoir des crémaillères. Les chariots sont généralement prévus simplement avec des roues et des ressorts, roues assez nombreuses, circulant sur une voie assez rigide, pour qu'on puisse admettre l'éventualité de surcharges accidentelles et renoncer aux complications jadis étudiées en vue d'y remédier. Différents dispositifs, enfin, ont été imaginés pour maintenir le bateau pendant le transport : il y a à signaler particulièrement celui qui consiste à disposer sur le fond du sas de gros pneus sur lesquels le bateau serait échoué légèrement; il y a là une combinaison intéressante de l'échouage partiel et du matelas élastique.

Comme conclusion des études faites sur les projets présentés au concours de Vienne, M. de Bovet estime :

1° Qu'il est possible d'employer des écluses jusqu'à des hauteurs qu'on n'a abordées jusqu'ici qu'avec des ascenseurs verticaux, soit de 15 à 18 m;

2° Qu'au delà de ces hauteurs les plans inclinés seuls donnent une solution tout à fait générale et que, en tant au moins qu'il s'agit de plans en long à faible pente, les projets actuels donnent toute sécurité.

M. Quinette de Rochemont partage l'avis de M. A. de Bovet : les grandes chutes sont intéressantes et on doit rechercher les moyens de les réaliser afin de diminuer le nombre des ouvrages. A cet effet, on a essayé des ascenseurs, et on a ainsi trouvé des solutions assez satisfaisantes pour des chutes d'une quinzaine de mètres. Mais les abords de ces ouvrages exigent de grandes dépenses et leur exécution est délicate.

Les ascenseurs qui existent à Anderton, en Angleterre, et aux Fontinettes, en France, donnent satisfaction. En Belgique, après avoir mis des ascenseurs sur le canal de la Meuse à Charleroi, on ne s'est pas encore décidé à faire les trois ouvrages du même genre qui doivent

compléter le canal: c'est là une situation assez anormale, qui tient aux difficultés qui se sont présentées.

En Allemagne, sur les canaux de Dortmund à l'Ems, on a fait, à Henrichenburg un ascenseur, qu'il est question de doubler par une série d'écluses.

Donc les ascenseurs n'ont pas donné jusqu'à présent une solution complète pour les grandes chutes.

En Amérique, lorsqu'on a augmenté les dimensions du canal Erié, on a d'abord pensé à faire des ascenseurs de 17 mètres, mais on y a renoncé pour établir des écluses.

Les plans inclinés, n'entrainant pas les mêmes difficultés d'établissement des abords, paraissent devoir être employés, lorsque la hauteur de chute est considérable. Jusqu'à présent il n'en existe que pour des bateaux pas très grands; ce n'est guère que pour des bateaux de 70 t qu'on en trouve sur le canal Morris, en Amérique, en Allemagne et en Angleterre, mais il n'y a pas de raison pour qu'on n'aille pas beaucoup plus loin. M. Quinette de Rochemont rappelle qu'en 1890 il avait proposé un plan incliné, pour racheter une chute de 48,50 m près du Cateau, sur le canal de l'Escaut à la Meuse, au lieu de douze écluses.

Il y a eu un commencement d'exécution de plan incliné pour grands bateaux. M. Quinette de Rochemont a vu au Canada, alors qu'il était presque terminé, un chemin de fer qui devait transporter de la baie de Fundy dans le Saint-Laurent des bateaux de 1 000 t; mais, les fonds ayant manqué, cet ouvrage est resté inachevé alors que tout le matériel était approvisionné.

Quant aux écluses, elles ne sont plus limitées au cas de très faibles chutes: on a admis, pour le canal du Nord, des hauteurs de 6,80 m, et, au canal de Saint-Denis, il y a une écluse qui a 9,90 m en fonctionnement. On doit, d'ailleurs, pouvoir aller plus loin et arriver à des hauteurs de 15 à 20 m, avec des procédés analogues à ceux indiqués par M. de Bovet.

En 1890, au Congrès de Manchester, MM. Fontaine et Galliot avaient proposé des écluses de 15 à 20 m.

M. Quinette de Rochemont conclut comme M. de Bovet: on trouvera le moyen d'employer des écluses de 15 à 20 m ; quand des circonstances locales permettront des chutes plus considérables, on aura recours au plan incliné. Et des concours comme celui de Vienne feront probablement découvrir les meilleures solutions dans les deux cas.

M. Ravier demande si, dans quelques-uns des projets dont il a été parlé, le courant produit à la descente du plan incliné n'est pas utilisé pour charger des accumulateurs.

M. A. de Bovet répond qu'il y a eu peu de projets comportant des accumulateurs. En général, on propose de laisser le courant produit, dans le circuit général.

M. Ravier signale que, dans le projet de plan incliné de la Société Française de Constructions Mécaniques, auquel il a collaboré, la dynamo à la descente faisait manœuvrer une pompe centrifuge remontant l'eau; on obtient ainsi un régulateur de vitesse très satisfaisant.

M. le Président remercie M. A. de Bovet de sa très intéressante communication et lui demande de l'étendre lorsqu'il connaitra les autres projets présentés.

M. le Président rappelle que l'idée de stabiliser les bateaux au moyen de pneus n'est pas nouvelle ; elle existait dans un projet présenté il y a une vingtaine d'années, à propos du canal de Mons à Charleroi. Au sujet des charges portées par les roues M. le Président pense qu'il ne faut pas craindre d'aller jusqu'à 25 t.

M. le Président adresse enfin des remerciements à M. l'Inspecteur général Quinette de Rochemont qui a bien voulu exprimer devant la Société ses idées et le résultat de ses études au sujet de cette question très importante.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. R.-C. Borghi et E.-J. Paul comme Membres Sociétaires Titulaires.

MM. Ch.-E. Charlon, O.-E. Lambert, E.-L. Leblanc, L.-H.-G. Lhoest, G. Marichal sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires ;

M. R.-E. Arrault, comme Membre Sociétaire Assistant et :

MM. L.-G. Mélin et L.-L. Gugenheim comme Membres Associés.

**La séance est levée à onze heures un quart.**

*L'un des Secrétaires Techniques,*
H. Dufresne.

# LES TUNNELS TUBULAIRES

## EN TERRAINS AQUIFÈRES

# LA TRAVERSÉE SOUS LA SEINE

## DES NOUVELLES LIGNES DU MÉTROPOLITAIN

PAR

M. C. BIRAULT

Au moment où l'on va commencer la construction des premiers tunnels pour la traversée sous la Seine des nouvelles lignes du Métropolitain, il nous a paru intéressant d'exposer sommairement les progrès réalisés dans ce genre de travaux, dans le cours de ces dernières années, et d'indiquer les données essentielles des grands ouvrages projetés dans Paris.

Nous nous efforcerons tout d'abord de résumer l'état actuel de la question des tunnels tubulaires en terrains aquifères, tel qu'il nous paraît résulter de l'expérience des travaux antérieurs et des considérations théoriques qui peuvent servir de guide, dans les calculs d'établissement de ces ouvrages.

Nous indiquerons notamment les formules auxquelles nous avons été conduits, pour le calcul des parois des tunnels à section circulaire. Elles sont analogues à celles que nous avons établies pour les conduites forcées, et qui ont fait l'objet de notre communication du 7 octobre dernier, sur les « flexions des parois dans les tuyaux de conduites de grand diamètre ».

Mais la pression de l'eau s'exerce ici de l'extérieur vers l'intérieur, c'est-à-dire en sens contraire de ce que l'on observe dans les conduites forcées, les effets du poids du liquide contenu sont donc remplacés par ceux de la poussée de l'eau.

Aussi nous bornerons-nous à indiquer ces formules, obtenues par une méthode de calcul analogue. Elles nous fourniront, comme on le verra, une justification assez inattendue de dispositions pratiques adoptées pour des raisons toutes différentes, et nous y trouverons également des arguments nouveaux de nature à apporter quelques éclaircissements sur des points encore controversés.

Bien que la théorie ne puisse pas fournir de renseignements

d'une précision absolue, dans des problèmes aussi complexes, il est permis cependant d'en espérer des indications utiles, surtout dans les circonstances où les données de l'expérience paraîtraient incomplètes, ou si l'on se trouvait conduit à rechercher des dispositions nouvelles.

Nous commencerons cette étude par quelques considérations générales sur les tunnels tubulaires, qui se rapportent plus spécialement aux souterrains à section circulaire exécutés par la méthode du bouclier. C'est le cas qui a été le plus fréquent, jusqu'à présent, pour la traversée sous les fleuves.

Nous examinerons ensuite sommairement quelques travaux récents, et nous trouverons des types d'ouvrages bien différents, dès que l'on n'emploie plus la méthode du bouclier, car les procédés d'exécution ont une importance capitale dans le choix des dispositions à adopter pour la constitution des parois et la forme des sections des ouvrages.

Enfin nous terminerons par un exposé général des grands travaux projetés dans Paris, pour les lignes du Métropolitain qui devront traverser sous la Seine.

Les premiers tunnels exécutés sous le fleuve seront ceux de la ligne n° 4 du Métropolitain municipal, ligne de la Porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans, qui passe obliquement sous les deux bras de la Seine, à la hauteur de l'île de la Cité, en amont du Pont au Change et du Pont Saint-Michel.

Ces ouvrages ont été mis au concours à la date du 17 décembre dernier. C'est notre collègue M. Chagnaud, dont le projet a été adopté, et qui est chargé de l'exécution de ces ouvrages.

D'autre part, on va commencer prochainement les travaux de la ligne de Montmartre à Montparnasse, dont notre collègue, M. Berlier, est concessionnaire. Cette ligne passera sous la Seine en aval du pont de la Concorde.

Dans un avenir plus éloigné, nous aurons la ligne d'Auteuil-Opéra du Métropolitain municipal, dont le tracé, tel qu'il est projeté actuellement, traverse deux fois la Seine, en amont du Pont des Invalides, et en aval du Pont Mirabeau. Et, enfin, diverses autres lignes du réseau complémentaire projeté.

En résumé, nous partagerons cette étude en trois parties :

1° Considérations générales sur les tunnels tubulaires ;

2° Monographie de quelques travaux récents ;

3° Travaux des nouvelles lignes du métropolitain, et traversée sous la Seine.

## I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES TUNNELS TUBULAIRES

Dans sa remarquable communication de décembre 1897 sur la « construction des souterrains par la méthode du bouclier » notre collègue M. Amiot a montré les progrès réalisés, depuis Brunel, l'illustre Ingénieur français qui créa cette méthode d'exécution des souterrains en 1823, en Angleterre, jusqu'à la construction du tunnel de Blakwall, sous la Tamise, terminé en 1897, dans les brillantes conditions que l'on sait.

On a vu au prix de quelles difficultés, et au milieu de quels dangers, Brunel parvint, au bout de vingt années, à terminer son grand tunnel sous la Tamise.

L'industrie ne pouvait pas, à cette époque, mettre à sa disposition un outillage assez puissant pour lui permettre d'employer un bouclier construit d'une seule pièce, par suite des efforts énormes à développer pour le faire avancer. Il dût donc le fractionner en éléments semblables, que l'on déplaçait isolément, au moyen de vérins à vis prenant appui sur les éléments fixes du bouclier.

Bien que cet engin fut fort ingénieusement conçu, il était sujet à des dislocations, sa complication en rendait la manœuvre délicate et les moindres fautes étaient aggravées par le danger de venues d'eau que les pompes étaient impuissantes à combattre.

Aussi fallût-il à Brunel une énergie et une ténacité admirables pour mener à bonne fin son entreprise.

Aujourd'hui, grâce à la puissance de l'outillage hydraulique, on peut employer des boucliers d'une seule pièce.

Mais, comme le faisait remarquer M. Amiot, dans les boucliers modernes les plus perfectionnés, on retrouve le principe des dispositions imaginées par Brunel.

L'emploi de l'air comprimé est venu faciliter grandement ces travaux, et nous rappellerons que c'est notre regretté collègue M. Hersent qui en a fait la première application au percement des galeries, en exécutant, en 1879, au port d'Anvers, une petite galerie de 90 m de longueur, à 5,50 m au-dessous du niveau de l'eau, dans des terrains sablonneux sans consistance.

Le revêtement métallique était formé de panneaux en fonte boulonnés.

Par suite des faibles dimensions de cette galerie, il n'a pas été fait usage de bouclier.

Après avoir décrit les principaux ouvrages exécutés à l'étranger, le tunnel de l'Hudson, celui de la rivière Saint-Clair, en Amérique, et les nombreux souterrains exécutés en Angleterre, sous la Tamise, et en Écosse, à Glasgow et à Édimbourg, M. Amiot décrit les travaux du tunnel de Blakwall, et le bouclier perfectionné, particulièrement bien adapté aux conditions difficiles dans lesquelles devait s'exécuter cet ouvrage et qui en permit l'achèvement dans un délai de cinq années.

Quatre concurrents avaient été admis à soumissionner pour ces travaux, qui furent donnés à MM. Pearson and Son, et après avoir indiqué les offres des concurrents, parmi lesquels se trouvait notre éminent président M. Coiseau, M. Amiot fait remarquer « qu'il s'en fallut de peu que notre très estimé collègue n'en fût chargé, et que les deux grands tunnels sous la Tamise n'aient été à cinquante ans de distance, construits par deux Français ».

Et il ajoute que « tous ceux qui connaissent M. Coiseau, en France comme en Angleterre, où il releva avec tant de succès un des caissons du pont du Forth, ne doutent pas qu'il eût conduit à bien cette vaste entreprise, et eussent été heureux de la voir confiée à son habileté ».

M. Amiot décrit ensuite les principaux travaux exécutés en France. Les premiers sont ceux des siphons de Clichy et de la Concorde, entrepris par M. Berlier, qui a vulgarisé en France l'emploi de la méthode du bouclier.

Cette méthode, modifiée pour la construction de voûtes en maçonneries, dans des terrains n'exigeant pas l'emploi de l'air comprimé, a été ensuite appliquée par M. Chagnaud, puis par M. Fougerolles, dans leurs travaux du collecteur de Clichy.

Depuis lors, le bouclier a été fréquemment employé pour l'exécution des souterrains, surtout pour des ouvrages urbains situés à une faible profondeur, lorsque l'on doit rechercher à éviter des tassements préjudiciables aux immeubles riverains, et notre collègue M. Lesourd nous décrivait dernièrement ceux dont on s'est servi pour l'exécution de la ligne métropolitaine n° 1.

Nous donnerons plus loin les renseignements que nous avons été en mesure de nous procurer sur des boucliers tout récents, exécutés en Angleterre, mais nous ferons tout d'abord une étude générale des tunnels eux-mêmes, en exposant les considérations qui guident dans le choix de la forme de section

de l'ouvrage, les calculs des parois, et les avantages comparés des différents types de revêtement, de ceux qui ont été éprouvés par la pratique, et aussi de ceux qui n'ont pas encore reçu, d'une façon définitive, la sanction de l'expérience.

## Forme de la Section.

La forme de section que l'on cherche à donner à un tunnel est évidemment celle qui enveloppe le mieux le gabarit des convois ou véhicules appelés à circuler à l'intérieur de l'ouvrage.

C'est donc celle que l'on adoptera de préférence, toutes les fois que des considérations de résistance, ou que les procédés d'exécution employés, ne conduiront pas à s'en écarter.

Tel est le cas de tous les souterrains peu surchargés, traversant des terrains consistants et secs, ou lorsque l'on est à une faible profondeur dans la nappe des eaux souterraines.

Les stations du Métropolitain ont été ainsi construites, avec des voûtes maçonnées, très surbaissées. Et c'est cette même forme de voûte que M. Berlier se propose de conserver pour sa ligne de Montmartre à Montparnasse, qui d'une manière générale est plus profondément située que les autres lignes du Métropolitain, qu'elle traverse toujours par en dessous. Dans certaines régions le plan des eaux dépassera la partie supérieure de la voûte, et l'on adoptera en ces endroits des épaisseurs de maçonneries appropriées.

Pour des souterrains traversant sous des fleuves, et qui sont par suite soumis extérieurement à des pressions d'eau importantes, qui peuvent en outre supporter de fortes charges de terres, lorsque l'on traverse des couches sans consistance, le choix de la forme de section à adopter dépend de plusieurs considérations : nature des terres, pressions d'eau, procédés pratiques d'exécution de l'ouvrage.

La solution de ce problème est relativement simple, lorsque l'on emploie la méthode d'exécution par *fonçage vertical*, à l'air comprimé, ou les procédés analogues. On constitue alors des parois très résistantes avec un revêtement métallique enveloppé dans un massif de maçonneries qui vient le renforcer extérieurement. Dans ces conditions le revêtement métallique intérieur sert surtout à assurer la parfaite étanchéité des parois, et il ne supporte que des fatigues très atténuées ou même tout à fait nulles Aussi arrive-t-on aisément aux formes de sections les plus variées.

Pour les ouvrages exécutés par *cheminement horizontal*, par la méthode du bouclier, il est nécessaire de réduire au minimum l'épaisseur des parois, afin de diminuer le cube des déblais et les dimensions des boucliers.

On se trouve donc dans des conditions bien différentes.

Des parois aussi minces que celles qui sont adoptées généralement avec les revêtements métalliques en fonte, n'ont pas, en effet, une rigidité propre qui leur permette de résister, dans de bonnes conditions, à des flexions importantes.

Dans certaines circonstances très favorables, lorsque l'on traverse des couches imperméables et compactes, telles que l'argile de Londres, ce qui a tant facilité la constructions de quelques-uns des souterrains sous la Tamise, les travaux peuvent s'effectuer à l'air libre, les terres se soutiennent par elles-mêmes, et le revêtement ne se trouve soumis à aucun effort notable.

Mais, le plus souvent, il y a des infiltrations d'eau qui obligent à recourir à l'emploi de l'air comprimé, au moins dans certaines parties des ouvrages traversant des couches perméables. De plus, les terres plus ou moins ébouleuses du toit chargent le souterrain. Les parois seront donc généralement soumises à des pressions d'eau et des charges de terre.

Avec les revêtements métalliques dont le montage s'effectue par anneaux successifs, à l'abri de la queue du bouclier, il existe d'ailleurs, au moment de la construction, un espace libre annulaire tout autour des parois, qui se trouve nécessairement rempli d'eau, lorsque l'on est en terrains aquifères.

On fait généralement des injections de mortier de ciment au travers du revêtement, de manière à remplir ce vide, et à entourer les parois d'une couche extérieure protectrice assurant un portage continu des panneaux du revêtement contre les terres environnantes. Même si l'on admettait l'imperméabilité de ce remplissage, cela n'empêcherait pas la pression de l'eau de s'exercer en arrière de cette couche protectrice, qui la transmet aux parois.

Comme le passage du bouclier détruit toujours plus ou moins la cohésion des couches traversées, au voisinage immédiat du revêtement, on peut se demander si la résistance du terrain serait suffisante pour s'opposer avec efficacité aux déformations élastiques par flexion que les parois peuvent subir, même dans le cas de couches très compactes et avec des injections de ciment très bien faites.

Les fatigues du revêtement sont certainement atténuées par les réactions du terrain environnant, mais elles ne sont pas annulées, et l'on est conduit à penser qu'elles conservent une valeur notable, dans le cas des revêtements métalliques, si l'on considère qu'avec le métal des déformations élastiques extrêmement petites, et même pratiquement inappréciables, correspondent généralement à des coefficients de travail élevés. Ce sont ces déformations insensibles qui doivent être diminuées par le portage du revêtement contre le terrain environnant par l'intermédiaire du remplissage, pour que cet appui soit efficace.

C'est donc une étude des réactions élémentaires du terrain contre le revêtement qui montrerait dans quelle mesure les fatigues des parois sont atténuées par la résistance des couches traversées.

Mais les ressources de l'analyse sont trop limitées pour que l'on puisse se dégager entièrement de certaines hypothèses qui entachent les résultats d'incertitude. Ces calculs conduisent en outre à une répartition des pressions élémentaires du revêtement contre le terrain dont la loi de variation doit correspondre à la résistance des couches traversées.

Or cette résistance est elle-même variable, non seulement suivant la longueur de l'ouvrage, mais parfois dans une même section transversale, et elle n'est pas connue à l'avance d'une manière précise.

Nous estimons donc que l'étude de la forme de section à donner à l'ouvrage doit être subordonnée aux seules pressions extérieures qu'il subit, sans faire intervenir dans ces calculs la résistance des couches traversées, et les considérations de gabarit deviennent alors tout à fait secondaires, ainsi que cela ressort de l'analyse suivante :

Etudions successivement les effets de la pression de l'eau et des charges de terres, suivant la forme adoptée pour la section de l'ouvrage.

La pression de l'eau s'exerce avec une intensité différente à la partie supérieure et à la partie inférieure du tube.

La composante générale de ces pressions variables est, en somme, égale à la poussée de l'eau, soit un effort vertical de bas en haut de 1 t par mètre cube de déplacement de l'ouvrage.

Aussi cette poussée surpasse-t-elle généralement le poids propre de l'ouvrage, avec les parois relativement minces que l'on adopte dans le cas des revêtements métalliques.

On remarquera qu'en chaque point la pression de l'eau se compose de deux éléments, dont l'un est constant, et égal à la pression en haut du tube, et dont l'autre est variable et proportionnel à la profondeur du point considéré au-dessous du plan tangent supérieur.

Ce dernier facteur donne des flexions que nous calculerons dans le cas de la forme circulaire, mais qui existeraient aussi avec des sections ovalisées.

Au contraire, le terme constant de la pression ne donnera, avec la forme circulaire, que des efforts de compression sans flexions.

Mais dès que l'on s'écarte de cette forme, il se produit dans les parois des moments fléchissants considérables, comme le montre l'application de la formule de Bélanger pour des sections elliptiques à peine excentrées.

Aussi, sans pousser plus loin cette analyse, on peut en conclure qu'au point de vue des effets de la pression de l'eau, la forme circulaire est bien pratiquement la plus convenable.

Nous verrons plus loin que les flexions dues au poids propre des parois sont en chaque point de sens contraire aux flexions dues à la pression de l'eau et varient suivant la même loi, de sorte qu'il peut arriver, avec la forme circulaire, que la résultante générale de ces flexions soit nulle pour tous les points de la circonférence.

Reste la question des charges de terres. Elles sont trop difficiles à déterminer *a priori* avec certitude, pour qu'il semble possible de rechercher une forme théorique appropriée à la nature des terrains. Cette recherche serait d'ailleurs illusoire, puisque la nature des terres variera généralement sur la longueur de l'ouvrage.

On remarquera cependant que pour tous les tunnels à double voie, ou les tunnels pour routes avec trottoirs latéraux, le gabarit des convois ou véhicules conduit à des formes aplaties, à la partie supérieure et inférieure du souterrain. Or, une section elliptique à grand axe horizontal est plus désavantageuse que le cercle, au point de vue des flexions dues aux charges de terres. C'est l'ellipse à grand axe vertical qui serait la meilleure.

Cette dernière forme peut convenir exceptionnellement pour le gabarit de tunnels à galeries jumelées. Mais si l'on se trouve dans des couches fluides ou sans cohésion, n'opposant pas de résistance aux déformations des tubes, on ne devra y recourir qu'avec circonspection, car les formes elliptiques sont si désavantageuses

pour les pressions d'eau que l'on risque de perdre de ce côté, et au delà, tous les avantages recherchés pour la charge des terres.

La forme elliptique à grand axe vertical a été adoptée pour les galeries du tunnel de l'Hudson, où l'on était dans des terrains très fluides, mais les parois étaient maçonnées et avec des épaisseurs assez fortes. Pour la partie de l'ouvrage construite par la méthode du bouclier, on est revenu à la forme circulaire, avec revêtement métallique en fonte.

Indépendamment des avantages pratiques qu'elle présente pour les facilités d'exécution et la rapidité du montage, nous pensons que la forme circulaire présente des avantages théoriques certains qui justifient son emploi presque général dans tous les tunnels tubulaires traversant sous des fleuves et exécutés par la méthode du bouclier.

Les calculs qui suivent sont donc faits pour la forme circulaire.

## Calcul des parois.

Suivant que le poids de l'ouvrage au mètre courant est supérieur ou inférieur à la poussée de l'eau, l'appui du tube sur les terrains environnants s'effectue par la base ou par le sommet (1). Ce dernier cas est le plus fréquent, avec les revêtements métalliques, la poussée étant alors supérieure au poids propre.

Dans chacun de ces cas, nous étudierons successivement les effets du poids des parois et de la pression de l'eau, et les effets des charges des terres.

Dans tous ces calculs, c'est l'hypothèse du tube vide qui sera envisagée, car elle se réalise lors de la construction, et à ce moment les parois doivent résister aux effets des déformations transversales auxquelles elles sont soumises.

D'ailleurs l'action des charges verticales dues au poids du ballast, ou de la chaussée et aux surcharges roulantes, est généralement favorable. Car si la poussée est supérieure au poids total du souterrain, l'appui se faisant par la partie supérieure du tube, la pression sur le terrain s'en trouve diminuée. Les surcharges de la partie inférieure du tube tendent à l'ovaliser en l'allongeant dans le sens vertical, c'est-à-dire en sens

(1) Ou pour parler d'une manière plus rigoureuse, c'est vers la base du tube, ou vers son sommet, que les réactions élémentaires du terrain sur le revêtement sont les plus fortes.

inverse des effets de la pression de l'eau et des charges des terres, ce qui réduit les flexions.

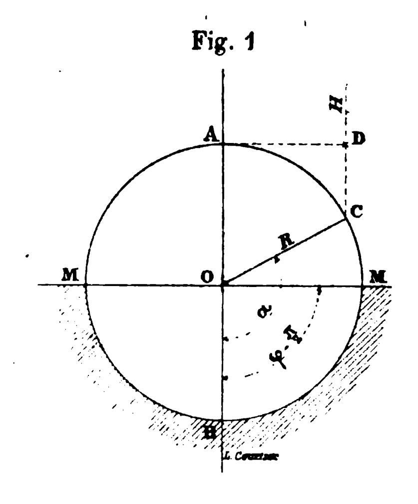
Si, au contraire, la charge totale surpasse la poussée, l'appui sur le terrain se faisant par la base du tube, les parois dans cette région transmettent directement au sol, sans flexion sensible, les pressions qu'elles reçoivent généralement par l'intermédiaire d'un matelas de ballast comprimé par les surcharges des convois, ou par la masse relativement compacte de la chaussée, dans le cas des tunnels pour routes.

On ferait une analyse de ces efforts secondaires si des dispositions spéciales dans l'appui des voies ou dans la chaussée faisaient craindre qu'ils ne soient pas négligeables.

Premier Cas. — *Le poids du tube par mètre courant est supérieur à la poussée de l'eau.*

1° *Action du poids propre des parois et de la pression de l'eau.* — Le poids du tube au mètre courant étant supérieur à la poussée de l'eau, l'appui sur les couches de terrain sousjacentes s'effectue suivant une zone que nous admettrons égale à la demi circonférence inférieure, (région hachurée de la figure 1). Les moments fléchissants dans les parois et les efforts de compression se déduisent des formules que nous avons établies pour les conduites forcées (1), avec les changements de signe correspondant au changement de sens des efforts dus à la pression de l'eau, qui agit de l'extérieur vers l'intérieur, pour les tunnels tubulaires.

Fig. 1




Soient :

R le rayon moyen du tube, dont l'épaisseur est supposée faible par rapport au diamètre;

$p$ le poids des parois, par mètre courant suivant la circonfé-

(1) Voir Bulletin d'octobre 1904.

rence et par mètre courant de tube, c'est-à-dire le poids au mètre carré de revêtement;

H la hauteur d'eau correspondant à la pression, à la partie supérieure du tube. Dans le cas de la traversée sous un fleuve, cette hauteur n'est pas nécessairement égale à la profondeur du haut du tunnel au-dessous du plan des eaux du fleuve. Elle pourra être parfois moindre. C'est donc une valeur maxima que l'on adoptera toutes les fois que l'on n'aura pas de renseignements contraires précis, fournis par des sondages ou des travaux en terrains analogues;

$\varphi$ demi-angle au centre de la région de parois appuyée contre le terrain. On a ici : $\varphi = \frac{\pi}{2}$;

$\delta$ poids du mètre cube d'eau, égal à 1000 kg.

Un point quelconque C de la paroi sera défini par l'angle au centre $\alpha$ du rayon OC avec le rayon vertical inférieur OB. Au point C la pression normale de l'eau est égale à $\delta$ (H + CD). Le terme $\delta$H, constant par tous les points de la circonférence, donne dans les parois des efforts de compression, sans flexions, dont l'intensité est $\delta$RH par mètre courant de paroi.

Le terme variable $\delta \times$ CD, ainsi que le poids $p$, donnent à la fois des efforts de compression et des flexions.

Les moments de flexion M, dus à l'ensemble de ces deux groupes de forces, sont donnés par la formule générale

$$M = \left(pR^2 - \frac{1}{2}\delta R^3\right)Z,$$

dans laquelle Z est une fonction trigonométrique de l'angle $\alpha$ définissant la position du point considéré.

L'appui du tube s'effectuant suivant la demi-circonférence inférieure MBM, si nous admettons que le terrain exerce sur le tube des réactions élémentaires verticales de bas en haut, d'intensité constante par mètre courant horizontal, dans la zone transversale d'appui de chaque section, la fonction Z est la suivante :

Pour la partie supérieure MAM :

$$Z = (\pi - \alpha)\sin\alpha - \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}\sin^2\varphi\right)\cos\alpha - \frac{1}{2\sin\varphi}\left(\frac{\pi}{2} + \frac{3}{2}\sin\varphi\cos\varphi + \varphi\sin^2\varphi\right). \qquad (2)$$

Pour la partie inférieure MBM :

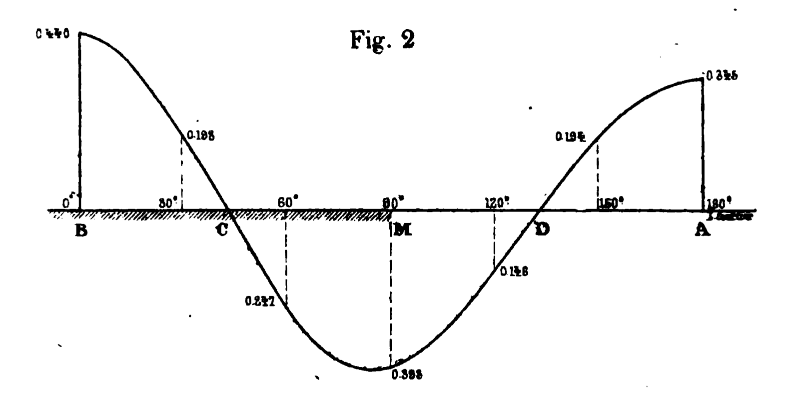
$$Z' = Z + \frac{\pi}{2 \sin \varphi} (\sin \varphi - \sin \alpha)^2. \qquad (2 \textit{ bis})$$

Et comme $\varphi = \frac{\pi}{2}$, ces formules deviennent :

$$Z = (\pi - \alpha) \sin \alpha - 0{,}833 \cos \alpha - 1{,}178,$$

$$Z' = Z + 1{,}571 (1 - \sin \alpha)^2.$$

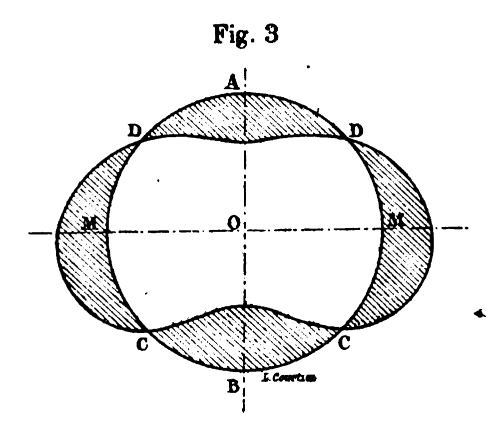
Fig. 2




Et elles peuvent se traduire par la courbe de la figure 2, dont les ordonnées donnent les valeurs de Z, les arcs développés étant portés en abscisses.

Le terme constant de la formule [1] est positif car nous verrons qu'il est proportionnel à la différence entre le poids propre et la poussée, le signe des moments est donc celui de la fonction Z. Avec les conventions de signes adoptées, pour le sens des moments, les valeurs négatives de Z, portées au-dessus de l'axe des X sur la figure 2, correspondent aux moments de flexion qui tendent à aplatir le tube, les valeurs positives de Z correspondent aux régions renflées.

Fig. 3




Si l'on porte les valeurs des moments, en chaque point de la

circonférence, et suivant les rayons, on obtient la courbe représentée figure 3, l'épaisseur de la partie hachurée indiquant l'importance des flexions. Les moments négatifs (régions aplaties) ont été portées à l'intérieur du cercle, les moments positifs (régions renflées) à l'extérieur. Les points C, D, où la courbe coupe le cercle sont ceux pour lesquels les moments de flexion sont nuls. On voit qu'ils sont assez voisins des régions à 45 degrés, par rapport à l'horizontale.

La plus grande valeur du moment a lieu au point inférieur B, où l'on a Z = — 0,440, d'où :

$$M_B = -0{,}440 \left(pR^2 - \frac{1}{2}\delta R^3\right).$$

Les valeurs de Z aux divers points de la circonférence ont été indiquées sur la courbe de la figure 2.

En divisant les moments fléchissants par le module de résistance de la section des parois, on obtient en chaque point le coefficient de travail dû aux flexions.

Il y a lieu d'y ajouter le travail dû aux efforts de compression, sous l'action du poids des parois et de la pression de l'eau (terme constant $\delta H$ et terme variable $\delta \times CD$).

Ces efforts de compression varient en chaque point. Leur maximum a lieu à la partie inférieure du tube, leur minimum en haut. L'expression des efforts de compression totaux, en ces points, est la suivante :

Au sommet A :

$$Q_A = -\frac{1}{6}pR + \delta R\left[H + \frac{7}{12}R\right]; \qquad (3)$$

A la base B :

$$Q_B = +\frac{1}{6}pR + \delta R\left[H + \frac{17}{12}R\right]. \qquad (4)$$

Pratiquement, le premier terme, correspondant au poids propre des parois, est négligeable devant les deux autres. Et comme d'autre part la hauteur H peut varier entre certaines limites, suivant le niveau des eaux du fleuve, et qu'elle n'est pas non plus connue avec une grande précision, on pourra se borner à calculer l'effort de compression maximum, à la base du tube, par la formule pratique approchée

$$Q = \delta R\,(H + 2R).$$

En additionnant algébriquement, en chaque point des parois, les coefficients de travail dus aux flexions et aux compressions générales, on obtient les valeurs maxima du travail total.

2° *Action des charges de terre.* — La façon dont les terres chargent le tube, surtout avec des couches imprégnées d'eau et sans consistance, a fait l'objet de controverses dont nous parlerons plus loin, en mentionnant ce qui a été dit sur cette question, au moment de la construction du tunnel sous la rivière Saint-Clair, en Amérique.

A notre avis, la charge d'une terre imprégnée d'eau, dont chaque élément peut être considéré comme entouré de liquide, est proportionnelle à la densité apparente de ce terrain dans l'eau, c'est-à-dire à sa densité réelle au mètre cube diminuée de 1 000 kg. C'est d'ailleurs ce qui est généralement admis.

Si cette terre est très fluide, les charges sur le tube augmenteront avec sa profondeur, si, au contraire, elle a une certaine tenue, la profondeur du tube n'aura plus autant d'importance. Elle pourrait même n'en avoir plus du tout, si l'on suppose des terres d'une tenue suffisante pour que si l'on supprimait le tube, par la pensée, cela ne se traduise que par un éboulement partiel qui ne se propage pas jusqu'au fond du lit. Enfin, avec des terres encore plus compactes, les couches du toit se soutiennent par elles mêmes sans donner aucune surcharge sur le tube. Ces simples considérations suffisent pour montrer combien il est difficile de faire des hypothèses précises sur la charge éventuelle des terres sur les parois d'un tunnel tubulaire projeté, même avec des résultats de sondages et l'expérience de travaux analogues.

Supposons cependant que les données caractéristiques des terres que l'on va traverser soient bien connues, densité, angle de glissement, etc. Il faudra en déduire la valeur vraie des pressions élémentaires exercées sur les parois du tube. Ces calculs seraient laborieux. Aussi devra-t-on se contenter, dans la pratique, de méthodes approchées d'une précision suffisante, ou donnant, en tous cas, des résultats par excès.

Dans son traité de statique graphique, M. Maurice Lévy montre comment l'on peut déterminer les forces agissant sur l'extrados d'une voûte chargée par des terres de remblais, en partant de la théorie de l'équilibre-limite, au lieu de se contenter de la méthode de calcul généralement admise, et qui consiste à ne

considérer en chaque point de l'extrados, que des forces verticales proportionnelles à la hauteur des terres, Les terres chargent, en effet, la voûte d'une façon différente, surtout vers les naissances où la courbe d'extrados peut être inclinée sur l'horizontale d'un angle comparable à l'angle de glissement.

A plus forte raison devient-il inexact de n'admettre sur un tube de section circulaire que des charges verticales, pour les pressions élémentaires des terres sur les parois. Il serait préférable de déterminer les moments de flexion et les efforts de compression en chaque point par la théorie de l'équilibre-limite, d'après les pressions élémentaires que l'on en déduirait.

En ne comptant que des pressions verticales, on se place dans des hypothèses de calculs défavorables, puisque les composantes horizontales des pressions combattent les effets de l'aplatissement vertical du tube, en le butant latéralement.

Nous ne donnerons donc les formules correspondant à l'hypothèse de pressions élémentaires verticales, qu'à titre d'indication, et comme procédé de calcul sommaire dont on se contenterait à la rigueur, si les coefficients de travail correspondant ne sont pas excessifs. Avec une méthode de calcul aussi défavorable, nous pensons que l'on peut admettre des coefficients totaux (poids propres, pression des eaux et charges des terres) voisins de la limite d'élasticité de la matière composant les parois.

Soit donc $\varpi$ la charge verticale des terres par mètre carré de surface diamétrale du tube.

L'expression générale des moments fléchissants produits par cette charge est :

$$M = -\frac{1}{4} \varpi \cos 2\alpha,$$

et si l'on porte ces moments en ordonnées, les arcs étant en abscisses, on obtient une sinussoïde dont l'allure a beaucoup d'analogie avec la courbe de la figure 2.

Les maxima négatifs ont lieu en A et B, aux extrémités du diamètre vertical, mais ils sont ici égaux. Et l'on a un maximum positif ayant même valeur absolue, à 90 degrés, c'est-à-dire aux extrémités du diamètre horizontal. C'est rigoureusement aux points de la paroi qui sont à 45 degrés sur l'horizontale, que les moments dus aux charges de terres sont nuls.

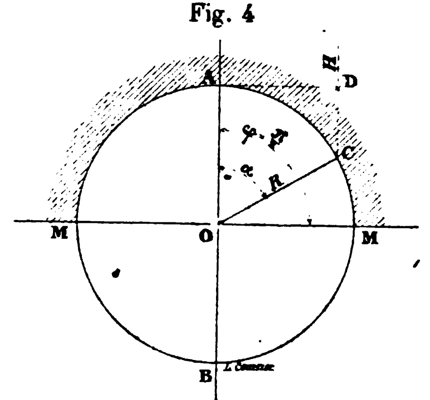
Quant aux efforts de compression générale dans les parois, ils

sont nuls en A et B, et maxima aux extrémités du diamètre horizontal, où leur valeur est égale à $\varpi$R par mètre courant.

DEUXIÈME CAS. — *Le poids du tube par mètre courant est inférieur à la poussée de l'eau.*

L'excès de la poussée sur le poids du tube applique alors celui-ci contre les couches supérieures de terrain, et nous admettrons que l'appui s'effectue suivant la demi-circonférence supérieure MAM (*fig. 4*).

Fig. 4




*1° Action du poids propre des parois et de la pression de l'eau.*

En conservant les mêmes notations que précédemment, mais en prenant le rayon vertical supérieur OA comme origine des angles, les moments de flexion sont donnés par la formule :

$$M = \left(-pR^2 + \frac{1}{2}\delta R^3\right)Z \qquad (1)$$

La fonction Z est la même que dans le cas précédent, la formule (2) s'appliquant à la partie inférieure MBM et la formule (2 *bis*) à la partie supérieure MAM.

Cette fonction sera représentée par la courbe de la figure 2 retournée, c'est-à-dire le point A en B et B en A. La figure 3 serait également l'inverse de la figure correspondante, par rapport au diamètre horizontal.

Les efforts normaux Q dans les sections A et B sont donnés par les formules (3) et (4) s'appliquant aux mêmes points, sans inversion, et l'effort de compression maximum, au bas du tube, pourra se calculer comme précédemment par la formule pratique (5).

Remarquons que les déformations sont analogues, et se traduisent par un aplatissement dans le sens vertical, car la fonction Z est la même dans les deux cas, et le terme constant est positif dans les deux formules [1].

2° *Action des charges de terre.* — Pour que le tube soit é[illegible] libre dans toute sa longueur sans que sa rigidité longit[illegible] n'intervienne pour empêcher des soulèvements possib[illegible] l'action de la poussée, il faut que la charge des terres sur l[illegible] soit partout supérieure à la force ascensionnelle, c'est-à-dir[illegible] différence entre la poussée et le poids propre du tube.

C'est une condition que l'on s'efforce toujours de rempl[illegible] d'éviter les fatigues dues aux flexions longitudinales du tu[illegible] aux efforts de cisaillement, qui se produisent dans le cas [illegible]traire. Avec les revêtements métalliques, il pourrait en r[illegible] des efforts anormaux dans le boulonnage des joints tra[illegible]saux.

Nous reviendrons plus loin sur ce point, qui présente un [illegible]tain intérêt, pour des tunnels passant à une faible profo[illegible] au-dessous du fond du fleuve, comme à la rivière Saint Cla[illegible] surtout au tunnel de Blakwall.

Supposons donc que la charge des terres soit supérieure [illegible] force ascensionnelle dans toutes les régions du tunnel.

Cette force ascensionnelle, par mètre courant du tube, a [illegible] expression :

$$F = -p \times 2\pi R + \delta\pi R^2,$$

soit, par mètre carré de surface diamétrale du tube, une press[illegible] égale à $\frac{F}{2R}$, transmise par le tube au terrain supérieur et q[illegible] est équilibrée par une partie de la charge totale $\varpi$ des terres.

C'est l'excédent $\varpi' = \varpi - \frac{F}{2R}$ qui donne une surcharge sur le tube dont les effets s'ajoutent à ceux de la pression et d[illegible] poids des parois.

Il y aura donc lieu de remplacer simplement $\varpi$ par $\varpi'$ dans les formules approximatives indiquées précédemment, pour tenir compte de l'action des charges de terres.

Cas particulier. — *Le poids du tube au mètre courant est égal à la poussée.*

La force ascensionnelle $F = \frac{2\pi}{R}\left[-pR^2 + \frac{1}{2}\delta R^3\right]$.

Si l'on a $F = 0$, c'est que $pR^2 = \frac{1}{2}\delta R^3$, le terme constant des formules (1) s'annule, et l'on a $M = 0$ pour tous les points de la circonférence.

Les moments de flexion dus au poids propre des parois et à la pression de l'eau sont donc *nuls en tous les points.*

Et l'on voit, d'après les formules générales des moments, que ce n'est qu'une conséquence d'un théorème beaucoup plus général, et qui peut s'énoncer ainsi :

***Les moments de flexion dus au poids propre des parois et à la pression de l'eau sont proportionnels à la force ascensionnelle.***

Le terme de force ascensionnelle est pris ici dans un sens généralisé, c'est la différence entre la poussée et le poids propre du tube, mais sans acception de signe, c'est donc la valeur absolue de la composante des forces verticales agissant sur le tube, quel que soit le sens de cette force.

Nous verrons plus loin les conclusions pratiques qui découlent de ce théorème.

Le cas de l'équilibre parfait est bien théorique. Néanmoins cela peut se rencontrer, avec des épaisseurs courantes dans les parois pour des revêtements maçonnés.

Pour que la force ascensionnelle soit nulle, on doit avoir :

$$p = \frac{1}{2} \delta R,$$

ce qui, avec un souterrain de 6 m de diamètre moyen, nous donne :

$$p = \frac{1}{2} \times 1\,000 \times \frac{6,00}{2} = 1\,500 \text{ Kg},$$

soit une épaisseur de maçonnerie de 65 cm environ, pour une densité de 2 300 kg au mètre cube.

Quoi qu'il en soit, le tube en équilibre, sans surcharges de terres, est un cas exceptionnel, auquel nous ne nous attarderions pas davantage, s'il n'était mentionné dans un rapport de l'éminent Ingénieur Greathead, à l'appui des raisons qui l'avaient conduit à adopter la forme circulaire, pour le tunnel de Blakwall.

Dans l'intéressant ouvrage de M. Legouëz, Ingénieur des Ponts et Chaussées, sur l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains, nous lisons en effet que Greathead s'exprime ainsi :

« La forme circulaire est celle qui convient le mieux avec le revêtement métallique. Dans un fluide parfait, en supposant le poids du souterrain égal au poids du fluide déplacé, le revête-

ment circulaire ne subirait aucun effort de flexion et serait le meilleur, en théorie comme en pratique. Dans un sol insuffisamment fluide pour couler autour du souterrain, la forme circulaire serait encore la meilleure, car le terrain offrirait un point d'appui suffisant pour éviter les déformations, et il ne se développerait aucun effort de flexion ; tel est le cas de l'argile de Londres et de toutes les argiles et les sables. Dans les terrains mous, comme la vase et les glaises très tendres, la forme circulaire serait le siège d'efforts de flexion, mais plus la matière serait fluide, plus ces efforts seraient faibles. »

Ces considérations ne sont pas toutes exactes, et elles ne s'appuient pas, lorsqu'elles le sont, sur des arguments à l'abri de la critique.

C'est ainsi que M. Legouëz fait remarquer dans son ouvrage, que ce n'est pas un avantage que l'on puisse faire valoir à l'appui de la forme circulaire, de dire qu'elle échappe aux flexions grâce à la butée des terres, lorsque le sol est insuffisamment fluide pour couler autour du souterrain. On en pourrait dire autant de toute forme aplatie, du moment que le revêtement prend appui sur le terrain. Et nous avons exposé pourquoi nous estimons cet appui inefficace ou insuffisant pour combattre les déformations élastiques très faibles des parois.

On peut remarquer aussi que Greathead ne parle pas des effets des variations de pression de l'eau, sur la hauteur du tube; et M. Legouëz fait observer avec juste raison que ces variations de pression doivent développer dans les parois des moments de flexion d'autant plus élevés que la section sera plus considérable.

Nous ajouterons même que les flexions dues aux variations de pression de l'eau, considérées isolément, croissent proportionnellement *aux cubes des diamètres*, ainsi que cela résulte des formules précédentes.

La première proposition de Greathead est cependant exacte. si dans un fluide parfait, le poids du souterrain est égal au poids du fluide déplacé, la forme circulaire ne donne aucune flexion. Mais cela tient à ce que le poids des parois donne en chaque point des moments fléchissants égaux et de signe contraire à ceux qui sont dus à la pression de l'eau, et cela n'était pas du tout évident *a priori*.

Nous terminerons ces considérations théoriques par quelques

*conclusions pratiques*, et par l'étude de la *stabilité générale* des ouvrages, en examinant ce qui se passe, lorsque, dans certaines régions, la force ascensionnelle surpasse le poids propre, ce qui a dû arriver au tunnel de Blakwall, pendant sa construction, lorsque l'on a passé sous la partie la plus profonde du lit de la Tamise.

### Conclusions pratiques.

Puisque les moments de flexion dus au poids des parois et à la pression de l'eau sont proportionnels à la force ascensionnelle, on en conclut qu'il y a intérêt à *donner de la masse au tube* lorsque la poussée surpasse le poids propre, ce qui est le cas général, avec les revêtements métalliques.

Plus on se rapproche de l'équilibre parfait, plus les flexions sont réduites, et avec des revêtements maçonnés on peut même arriver à les annuler. Il n'y aurait pas lieu d'en conclure cependant à la supériorité générale de ce dernier type de revêtement sur le premier, car cet avantage serait secondaire, s'il y avait des charges de terres donnant des flexions importantes. C'est une question à examiner dans chaque cas, les qualités de résistance et d'élasticité des matériaux étant trop différentes, dans les deux types de revêtement, pour que l'on puisse formuler une règle générale.

Ces considérations théoriques nous donnent cependant une justification assez inattendue de l'habitude très générale que l'on a de garnir d'un remplissage en mortier de ciment le vide intérieur entre nervures des panneaux boulonnés, avec les revêtements en fonte. On alourdit ainsi notablement le poids des parois, et les flexions s'en trouvent réduites dans des proportions appréciables.

Pour nous en rendre compte, nous examinerons, à titre d'exemple, le cas du tunnel de Blakwall :

Le diamètre extérieur du revêtement en fonte est de 8,23 m. Dans la partie de l'ouvrage où il est le plus robuste, l'épaisseur du métal est de 50 mm, la longueur des anneaux est de 760 mm, et les nervures de boulonnage ont 300 mm de profondeur, avec 76 mm à la base et 50 mm au bord intérieur.

Le poids d'un anneau complet est de 16 765 kg, et le poids $p$ au mètre courant de circonférence, pour un mètre de longueur du tube (poids au mètre carré de revêtement) est $p = 850$ kg environ.

On a rempli de béton de ciment les vides entre nervures, de manière à les recouvrir et à constituer une surface cylindrique continue que l'on a garnie de carreaux émaillés.

Le diamètre intérieur est ainsi réduit à 7,39 m, soit une épaisseur totale de paroi de 0,42 m, comptée à partir de la surface extérieure du revêtement en fonte.

Nous évaluerons approximativement le poids de ce remplissage à 650 kg par mètre carré de revêtement, ce qui donne un poids total de parois :

$$p' = 850 + 650 = 1\,500 \text{ kg au mètre carré environ.}$$

Or, la force ascensionnelle est proportionnelle à :

$$-p + \frac{1}{2}\delta R,$$

soit ici :

$$-850 + \frac{1}{2} \times 1\,000 \times 4{,}115 = 1\,208 \quad \text{sans le remplissage.}$$

$$-1\,500 + \frac{1}{2} \times 1\,000 \times 4{,}115 = 558 \quad \text{avec le remplissage.}$$

Et le rapport des flexions dues au poids propre et au poids des parois, dans les deux cas, est égal à :

$$\frac{558}{1\,208} = 0{,}46.$$

La présence du remplissage a donc pour effet de réduire ces flexions de plus de moitié.

L'amélioration totale, pour l'ensemble des flexions dans les parois sera évidemment moindre, puisque cette réduction ne porte que sur les effets du poids des parois et de la pression de l'eau. Elle n'en demeure pas moins très notable.

Avec les revêtements métalliques, la question des *joints* boulonnés mérite également d'être examinée de près, car ce sont des points faibles dans les parois.

Les déformations transversales du tube peuvent fatiguer d'une façon anormale les joints longitudinaux. Les joints transversaux ne travaillent que si la stabilité générale de l'ouvrage, sous l'action des poussées, n'est pas assurée dans toutes ses parties par la prépondérance des charges verticales, ce qui est un cas exceptionnel que nous traiterons plus loin.

L'on a généralement soin de décroiser les joints longitudinaux, dans les anneaux successifs du revêtement, pour les grands diamètres de souterrains, ce qui annule presque entièrement les déformations transversales.

Quelques expériences ont été faites pour se rendre compte de l'importance pratique de ces déformations, et nous lisons dans l'ouvrage de M. Legouëz :

« Qu'au souterrain de l'Hudson, où divers accidents se produisirent, on construisit pour étudier la question un anneau que l'on monta d'abord à plat sur le sol, en lui donnant la forme d'un cercle parfait, puis on serra avec soin les boulons de joint.

» On redressa ensuite l'anneau avec une grue, de manière à le mettre debout, et l'on reconnut qu'il s'aplatissait de 76 mm sous son propre poids.

» On recommença à la rivière de l'Est le même essai, avec deux anneaux dont les joints furent alternés. On ne put constater d'aplatissement. Au moyen d'une vis de serrage on appliqua sur le diamètre vertical une force de 7 t. Le diamètre vertical se réduisit d'environ 13 mm, et des fissures se déclarèrent par des trous de boulons. Cet abaissement est certainement beaucoup moindre, mais il ne faut pas oublier que le diamètre n'était que de 3,10 m, tandis qu'il était de 5,49 m à l'Hudson, et que le revêtement de ce dernier souterrain était notoirement trop faible. »

De ces expériences, il résulte que les revêtements métalliques sont assez défavorables, ce qui tient surtout à l'élasticité des joints longitudinaux et que ces déformations transversales sont importantes, si les joints longitudinaux ne sont pas alternés. Ils constituent alors des génératrices continues et affaiblies.

Il est vrai que l'élasticité des joints permet alors des déformations importantes sans grandes fatigues des panneaux et du boulonnage, et l'on pourrait se demander si le tube n'acquiert pas ainsi une certaine souplesse qui lui permettrait de se déformer en quelque sorte à la demande des terrains environnants. Si ces déformations étaient limitées et très faibles, cela ne serait pas nécessairement fâcheux.

Mais la nature des terrains traversés varie suivant la longueur de l'ouvrage, et sur la seule hauteur du tube on peut rencontrer des couches très variables. Il suffit de remarquer que les anneaux du revêtement sont solidaires les uns des autres, par le

boulonnage des joints transversaux, pour constater qu'il n'y a aucun avantage à ce qu'ils soient déformables, puisque la déformation qui conviendrait le mieux pour un anneau ne serait pas la même que celle qui convient à l'anneau voisin.

Enfin la souplesse ne peut être obtenue que par un serrage imparfait des boulons de joint, ce qui aurait des inconvénients au point de vue de l'étanchéité. Et même si ce serrage s'effectue en plusieurs fois, de manière à laisser les petites déformations se produire, il y aura toujours, au cours du montage, une fatigue initiale dans les joints qui ne permettra pas de déformations ultérieures sensibles sans fatigues anormales des boulons et des nervures.

L'alternance des joints longitudinaux dans les anneaux successifs réduit considérablement les fatigues dans les joints qui se trouvent renforcés par la rigidité des panneaux voisins. Et l'on peut alors ne pas se préoccuper des fatigues dans le boulonnage, en calculant la résistance des panneaux, de manière à ce que chaque anneau travaille à un coefficient admissible, sous l'action des flexions correspondant à une longueur du tube égale à celle de deux anneaux du revêtement. Si l'on ne décroise pas les joints longitudinaux, on risque d'avoir des coefficients de travail très élevés dans le boulonnage des joints, les nervures, et les matières plastiques qui sont parfois interposées. pour assurer l'étanchéité et la butée des terres maintient seule l'équilibre de l'ensemble des panneaux composant la section.

Indépendamment des considérations pratiques qui font rechercher le plus possible l'indéformabilité des sections de l'ouvrage. par la rigidité propre des parois, c'est donc avec raison que l'on s'efforce de l'obtenir.

### Stabilité générale.

Pour un tunnel tubulaire traversant des couches aquifères, la stabilité générale de l'ouvrage est assurée par la prépondérance de son poids et de la charge des terres sur la poussée de l'eau ou bien par la résistance que la cohésion des terrains du toit oppose au soulèvement du tube, lorsque la poussée est plus forte que le poids propre et que l'on traverse des couches compactes.

Pour que l'ouvrage ne soit pas soumis à des flexions longi-

dinales dans certaines de ses parties, il est nécessaire que cette condition soit remplie, dans toutes les sections du tunnel.

Il en est toujours ainsi aux accès et vers les berges, mais il pourrait arriver qu'il n'en soit plus de même dans la région du souterrain qui se trouve sous la partie la plus profonde du lit du fleuve, si l'on ne passait pas assez bas pour laisser au-dessus du tube une hauteur de terre suffisante.

Nous examinerons, à ce point de vue, les travaux du tunnel de Blakwall, en indiquant tout d'abord les controverses qui ont eu lieu sur cette question, à propos du tunnel sous la rivière Saint-Clair, et qui sont mentionnées ainsi qu'il suit dans l'ouvrage de M. Legouëz :

« On s'est beaucoup préoccupé, à propos de ce travail, des conditions d'équilibre du souterrain. Le volume déplacé, pour le diamètre de 6,40 m est de 32 m³ par mètre courant.

» L'argile pesant 2 045 kg par mètre cube, la poussée variait, suivant que l'on considérait l'argile comme fluide, ou que l'on ne considérait que l'eau qu'elle contenait entre

$$32 \times 2\,045 = 65\,440 \text{ kg} \quad \text{et} \quad 32 \times 1\,000 = 32\,000 \text{ kg}.$$

» Le poids total du revêtement et de la voie permanente est de moins de 16 370 kg par mètre courant.

» Si l'on avait affaire à un fluide parfait, le souterrain serait soulevé. En réalité il est soumis à une poussée de bas en haut due à cette différence de poids, et à une pression de haut en bas due à la terre qui se trouve en dessus, dont le volume est assez difficile à déterminer. Lequel l'emportera?

» Les Américains proposent, pour valeur de la pression de bas en haut, de prendre le minimum 32 000 kg et d'y ajouter le tiers de la différence avec le maximum, 11 147 kg, soit, en tout, 43 147 kg de sous-pression, dont il y a à déduire toutefois le poids de l'ouvrage, 16 370 kg. Il resterait 26 777 kg pour la poussée de bas en haut par mètre courant.

» Quant à la charge, l'argile dans l'eau pèse 2 045 kg, moins son volume d'eau, soit 1 045 kg. Une couche de 1 m, sur toute la largeur de 6,40 m de la galerie pèse donc $1\,045 \times 6,40 = 6\,688$ kg et pour équilibrer la sous-pression il faut une épaisseur de $\frac{26\,777}{6\,688} = 4$ m environ.

» Il faut tenir compte que la base n'est pas à l'extrados, mais environ 0,80 m en dessous. L'épaisseur nécessaire se réduirait donc à 3,20 m.

» A la rivière Saint-Clair il y a quatre points où la couche d'argile est inférieure à ce chiffre, mais elle est chargée d'une couche de sable, de gravier, et de blocs, qui font compensation... »

Voyons maintenant ce qui se passe au tunnel de Blakwall, sous la Tamise, où l'on a traversé sous le fleuve, à 1,67 m seulement au-dessous du fond du lit, dans sa partie la plus profonde.

Nous estimons que la valeur de la poussée doit être comptée d'après le volume d'eau déplacée, sans addition d'un facteur arbitraire, comme le proposent les Américains, pour tenir compte de la pression de l'argile. La poussée n'est jamais produite que par l'eau dont elle est imprégnée. La manière de compter les charges de terre sur le tube nous paraît assez rationnelle, à défaut d'une méthode plus précise. Nous étudierons, sur ces bases, la stabilité de l'ouvrage, après son achèvement, et en cours de construction. Ces calculs peuvent se résumer sommairement comme suit :

Le diamètre extérieur du souterrain étant de 8,23 m, le déplacement est de 53 197 m³, soit une poussée de 53 t environ, par mètre courant.

Le poids du revêtement en fonte est de 22 t, dans la partie de l'ouvrage située sous la rivière. Lorsque l'ouvrage a été terminé, il y a eu lieu d'y ajouter le poids du remplissage, soit 17 t environ, la chaussée et trottoirs, 9 t, soit 48 t environ au total.

L'excédent de la poussée sur le poids propre est donc de $53 - 48 = 5$ t par mètre courant de souterrain, soit $\frac{5\,000}{8{,}23} = 600$ kg environ par mètre carré de surface diamétrale. On voit que la faible couche de terre de 1,67 m au-dessus du tube, même avec sa densité apparente dans l'eau, correspond à une charge supérieure à ce chiffre, et que l'ouvrage est stable dans toutes ses parties, sans subir de flexions longitudinales.

Pendant la période d'exécution, lorsque l'on a traversé sur une cinquantaine de mètres la partie la plus profonde de la Tamise, on a dû déposer au fond du lit une couche d'argile de 4,50 m d'épaisseur, afin de pouvoir maintenir l'air comprimé au front d'attaque, sans faire sauter le fond de la rivière. Cela n'a pas empêché d'ailleurs cet accident de se produire, mais sans qu'il en soit résulté de conséquences graves.

Nous voyons qu'à ce moment, le poids du tube n'était que de 22 t pour 53 t de poussée, soit un excédent de poussée de $53 - 22 = 31$ t par mètre courant de souterrain, ce qui correspond à une

pression diamétrale de $\frac{31}{8,23} = 3\,800$ kg par mètre carré, exercée par le tube sur les terres du toit.

La couche d'argile de 4,50 m plus 1,70 m environ de terre au-dessus du tube, soit 6,20 m de hauteur totale, chargeait le tunnel bien davantage. La poussée était donc amplement équilibrée, dans les parties du souterrain surchargées par la couche d'argile. Mais comme cette couche d'argile était ensuite draguée et reportée plus loin, au fur et à mesure de l'avancement, il est probable qu'à certains moments le tube a dû travailler quelque peu dans le sens longitudinal, ce qui aura donné des tractions des boulons, dans les joints transversaux.

Pour pouvoir calculer exactement ces efforts, il serait nécessaire d'avoir un diagramme très précis de la marche des travaux, avec le relevé du fond du lit à chaque période de l'avancement.

On en déduirait la force ascensionnelle aux divers points du tube, pendant la phase du travail la plus défavorable, et l'on pourrait calculer les moments fléchissants longitudinaux et les efforts de cisaillement, en considérant le tube comme une poutre encastrée, à partir des endroits où la charge du terrain surpasse la poussée.

On aurait ainsi une idée assez exacte des efforts secondaires au cours du montage. Comme la région dangereuse n'avait guère que 50 m de longueur, que le diamètre du tube est de 8,23 m, et que le boulonnage est formé de boulons de 38 mm de diamètre traversant de fortes nervures, il paraît probable que ces coefficients de travail en cours d'exécution, étaient peu élevés.

Quoi qu'il en soit, cet ouvrage a été exécuté assurément avec beaucoup de hardiesse. C'est pour éviter d'avoir de trop fortes pressions d'air comprimé au front d'attaque que l'on est passé aussi près du fond de la rivière, au lieu d'établir le souterrain à un niveau inférieur.

Rappelons que le bouclier comportait, en arrière de la trousse coupante, deux cloisons verticales étanches formant sas à air, et qui permettaient de maintenir au front d'attaque une pression supérieure à celle qui régnait dans le tunnel. La surface du bouclier était divisée en 12 cellules par 3 cloisons verticales et 3 planchers horizontaux, et la rigidité du plancher milieu avait été calculée de manière à ce qu'il pût résister à des diffé-

rences de pression sur ses deux faces, pour travailler au besoin avec une pression d'air comprimé plus forte dans les compartiments inférieurs que dans le haut du bouclier et réduire les pertes d'air comprimé. Mais dans la réalité, cette faculté que l'on s'était réservée n'a pas été utilisée, bien que l'on ait eu à certains moments de fortes pertes d'air comprimé. Il aurait été intéressant de savoir si les dispositions prévues auraient été efficaces, sans entraîner de trop grandes complications dans les manœuvres. On aurait évidemment dû empêcher les fuites en avant du plancher milieu, contre le front d'attaque, par le moyen bien connu d'un bourrage en argile, s'opposant au passage de l'air comprimé, des chambres inférieures vers celles du haut, au travers du terrain perméable. Ce bourrage en argile aurait été fait dans une rainure du terrain, à hauteur du plancher milieu, et aurait complété l'isolement des chambres inférieures et supérieures.

## Différents types de revêtements.

### Revêtement en fonte.

C'est le type de revêtement de beaucoup le plus usité, pour les souterrains à section circulaire exécutés par la méthode du bouclier; tunnel sous la rivière Saint-Clair, souterrains sous la Clyde à Glasgow, tunnel de Blakwall, siphons de Clichy et de la Concorde, etc.

Il n'y a rien de particulier à noter sur les avantages bien connus du revêtement en fonte : facilité d'exécution des panneaux, rapidité et sécurité du montage, facilité relative pour obtenir l'étanchéité avec des pressions d'eau assez fortes; déblais réduits an minimum grâce à la faible épaisseur des parois.

Par contre, ce revêtement est coûteux dans les pays où la fonte n'est pas à très bas prix, par suite des tonnages élevés de métal auxquels on arrive, et d'autre part les joints sont des points faibles dont l'élasticité peut rendre le revêtement déformable, si l'on ne décroise pas les joints longitudinaux des anneaux successifs.

L'on interpose fréquemment dans les joints des matières plastiques assurant l'étanchéité : feuilles de plomb, plaques de bois créosoté, mastics divers. Les fatigues produites par les flexions, dans le boulonnage des joints, sont, par suite, atténuées dans une certaine mesure.

Mais la matière plastique des joints peut être alors comprimée à des coefficients excessifs et d'autant plus élevés que ces compressions varient dans l'épaisseur du joint si la courbe des pressions ne passe pas au milieu des plaques interposées pour l'étanchéité.

Avec des joints longitudinaux alternés, la rigidité des panneaux voisins réduit beaucoup les fatigues dans les joints.

Malgré tout, les flexions peuvent fatiguer les joints et leurs boulons. Ces derniers, étant composés de matières de choix, fer ou acier doux, c'est plutôt les nervures qui seraient exposées à se rompre. Aussi est-ce une bonne précaution de les armer de petites nervures perpendiculaires, de forme triangulaire, qui les relient au corps de la plaque, à intervalles rapprochés.

Avec *l'acier moulé* au lieu de la fonte, on pourrait réduire les épaisseurs, et par suite le tonnage, tout en bénéficiant des avantages d'une résistance supérieure, et de l'absence de fragilité de l'acier, ce qui peut éviter des ruptures dans le cas de chocs accidentels ou d'efforts anormaux, notamment en cours de montage. Mais le prix plus élevé de l'acier moulé ne permet pas de réaliser une économie, malgré la réduction de tonnage qui en résulte. Comme d'autre part les joints boulonnés, qui sont des points faibles dans les parois, sont toujours constitués d'une manière analogue dans les deux cas, le remplacement de la fonte par l'acier moulé ne paraît pas donner d'avantages en rapport avec l'augmentation du prix du revêtement.

### Revêtement en fer ou en acier laminé.

Il en existe peu d'exemples; cependant, on l'a tenté à Berlin, pour un tunnel sous la Sprée, et les résultats ont été, paraît-il, satisfaisants, au point de vue de la résistance aux pressions extérieures, et de l'étanchéité.

Ce type de revêtement peut être intéressant, car il est possible, avec le fer ou l'acier laminé, de réaliser des sections de panneaux d'une résistance et d'une rigidité comparables à celles des revêtements en fonte, et avec une économie sur le tonnage qui compense le prix plus élevé des matières.

Le diamètre extérieur du tunnel sous la Sprée est de 4 m; le revêtement est en fer, et ne pèse que 1 800 kg au mètre courant, ce qui est peu, pour un tel diamètre. Le revêtement est constitué par des anneaux de 650 mm de longueur, formés de pan-

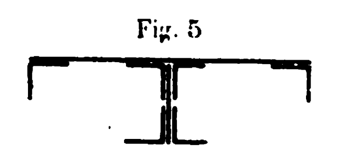
neaux en tôle de 10 mm d'épaisseur, dont les nervures ont 100 mm de hauteur et 10 mm d'épaisseur également.

Comme un tel revêtement serait très déformable, on en augmente la rigidité par l'interposition, dans les joints transversaux, d'une tôle de 15 mm d'épaisseur, qui déborde de 50 mm vers l'extérieur, et est en retrait de 15 mm du côté intérieur du joint, Ce vide intérieur est rempli ensuite de ciment, pour assurer l'étanchéité. Les joints de cette tôle circulaire de renforcement sont alternés avec les joints longitudinaux des panneaux voisins Une injection de mortier de ciment, au travers du revêtement, assure le portage contre les terrains environnants.

Malgré tout, cela paraît bien flexible, et les joints sont toujours des régions affaiblies du revêtement.

Nous pensons qu'une disposition meilleure consisterait à raidir chaque anneau du revêtement par une armature en tôles et cornières disposée en son milieu (*fig. 5*).

Fig. 5



Cette armature ferait corps avec les panneaux, auxquels elle serait rivée par tronçons de même longueur. Après le montage de chaque anneau, on relierait par des assemblages rigides les extrémités des tronçons de cette armature, qui formerait alors un cercle continu assurant l'indéformabilité de l'anneau.

La tôle des panneaux serait bordée de cornières sur tout son pourtour, pour le boulonnage des panneaux entre eux. L'étanchéité serait complétée par l'interposition de feuilles de plomb ou de bois créosoté dans les joints. Des équerres et goussets assureraient l'indéformabilité des angles. Tous les fers seraient ensuite enrobés, vers l'intérieur, dans un remplissage en mortier de ciment, recouvrant de quelques centimètres les bords intérieurs des joints, et l'on exécuterait par-dessus une chape intérieure continue.

L'épaisseur totale des parois est à peine supérieure à celle du revêtement correspondant en fonte, et, avec un tonnage moitié moindre on réalise aisément des sections de parois ayant sensiblement même moment d'inertie. Comme le travail dû aux compressions générales est toujours très faible, il reste encore, avec l'acier doux, une marge de sécurité bien plus grande qu'avec la fonte pour la résistance aux efforts de flexion.

Au point de vue de la durée probable des revêtements en acier laminé, on remarquera que le métal se trouve protégé contre l'oxydation par le remplissage intérieur en mortier de ciment qui recouvre les tôles et armatures. Du côté extérieur, les tôles se trouvent encore protégées, par suite de l'injection de ciment sous pression exécutée lors de la construction.

L'emploi de l'acier laminé à la place de la fonte paraît donc recommandable. Les prix des deux revêtements seraient à peu près équivalents.

L'exemple des accidents arrivés au tunnel de l'Hudson avec un revêtement en tôle ne saurait être objecté, puisqu'il ne s'agissait là que d'un revêtement provisoire garni ensuite d'un épais revêtement en briques, constituant la partie résistante des parois.

Ce revêtement métallique n'avait pas été étudié pour résister aux efforts temporaires considérables auxquels il devait se trouver inévitablement soumis, avant la construction du revêtement maçonné. Il n'était même pas soutenu par des cintres au cours du montage, ce qui aurait été d'autant plus indispensable que la forme de la galerie était elliptique, et, par suite, encore plus sujette aux déformations.

Enfin, on ne s'était pas préoccupé de donner la moindre rigidité aux panneaux, et l'on aura une idée de leur flexibilité si l'on considère que tous ces panneaux avaient été construits pour la forme circulaire, c'est-à-dire tous semblables comme courbure, et que c'est en les déformant lors de la pose qu'on obtenait la courbure voulue.

### Revêtement maçonné.

Nous ne citerons que pour mémoire le tunnel de Brunel, sous la Tamise, exécuté en maçonnerie de briques, celui de l'Hudson, également en briques, avec revêtement métallique extérieur, dans la partie de cet ouvrage qui n'a pas été exécutée par la méthode du bouclier.

Le revêtement en maçonnerie a été employé avec succès, et dans des conditions économiques très satisfaisantes, par nos collègues, MM. Chagnaud et Fougerolles, pour la construction du collecteur de Clichy, exécuté par la méthode du bouclier, avec des engins appropriés à la nature des terrains.

Tout a été dit sur les avantages réciproques des revêtements

en fonte et en maçonnerie. Ce dernier se prête mieux à l'exécution de sections à courbures variables, de forme quelconque, et il est très économique dans certaines circonstances, mais il voit ses avantages diminuer à mesure que les pressions extérieures, et surtout les pressions d'eau, augmentent.

On peut compléter l'étanchéité par une chape intermédiaire construite dans l'épaisseur des maçonneries, comme cela a été fait à la traversée de la ligne métropolitaine n° 1, sous le canal Saint-Martin.

Néanmoins, cette chape est d'une exécution délicate, et son efficacité est, par suite, contestable. Pour de fortes pressions, l'étanchéité est assurément plus facile à obtenir avec le revêtement métallique.

Si, d'autre part, il s'agit de traversée sous des fleuves, à de grandes profondeurs, le prix élevé du déblai à l'air comprimé, par la méthode du bouclier, fait rechercher le type de revêtement donnant l'épaisseur minima pour les parois, qui est le revêtement métallique.

Il n'y a donc d'indécision que pour juger à quel moment le revêtement métallique devient plus avantageux que le revêtement maçonné, ce qui ne peut être tranché, dans chaque cas, que par une étude comparative complète, où entrent trop d'éléments variables pour qu'on puisse formuler une règle générale.

Notons, à l'avantage du revêtement maçonné, qu'il est continu, sans régions affaiblies, comme le sont les joints boulonnés des revêtements en fonte, et qu'il donne plus de masse aux ouvrages, ce qui peut être intéressant dans certains cas, comme nous l'avons vu

### Revêtement en béton armé.

Indépendamment des avantages généraux du béton armé, qui le font préférer aux constructions métalliques dans bien des circonstances, et au premier rang desquels il faut évidemment placer l'économie qui en résulte; son emploi paraît présenter des avantages particuliers pour la construction des tunnels tubulaires.

En effet, on peut réaliser avec le béton armé des parois relativement minces, résistantes et rigides, et s'affranchir en outre de la sujétion des joints et des inconvénients qu'ils présentent au point de vue de la résistance.

On arrive ainsi à constituer des parois monolithes, présentant une résistance continue dans les deux sens, longitudinalement et transversalement, et sous des épaisseurs assez réduites pour que le cube des déblais ne soit pas sensiblement augmenté par rapport à celui du revêtement métallique, infiniment plus coûteux.

Avec le béton armé, il devient en outre facile, en cours d'exécution, de proportionner la résistance du tube aux pressions extérieures qu'il supporte, suivant la nature des couches de terrains traversées.

Dans les régions du souterrain où l'on reconnaît que les pressions sont plus fortes que ce qu'on avait prévu, on renforcera les parois par une augmentation du dosage en ciment, et par des armatures plus robustes. Si l'on trouve, au contraire, des couches de terrains compactes, non aquifères, on réduit les épaisseurs et l'on diminue la section des armatures dans cette partie du tunnel.

Ces modifications n'entraînent aucune sujétion de construction, tandis que le même résultat ne serait obtenu, avec le revêtement métallique, que par un grand nombre de panneaux de types différents, dont les proportions devraient être déterminées à l'avance, et pourraient, par suite, ne pas correspondre aux quantités nécessaires. Avec le béton armé il devient, en somme possible de construire le tube exactement à la demande des terrains. C'est donc, assurément, une solution rationnelle et économique.

En présence de ces avantages, il est intéressant de rechercher si les objections de principe qu'on pourrait formuler contre l'emploi du béton armé, pour la construction des tunnels tubulaires sous des fleuves, ne seraient pas de nature à être écartées, par un examen très complet et très attentif de cette question.

C'est dans l'espoir d'apporter quelques éléments utiles à cette étude, que nous exposerons en détail le projet de tunnel tubulaire en béton armé auquel nous avons collaboré avec M. Paul Piketty, ancien élève de l'École Polytechnique, entrepreneur de travaux en béton armé.

Dans ce projet, on s'est attaché tout spécialement à assurer l'étanchéité des parois, sans compter sur l'imperméabilité relative du béton armé, qui se trouve protégé extérieurement contre les infiltrations.

Et les procédés d'exécution ont été étudiés de manière à sim-

plifier et rendre facile la construction de la paroi en béton armé, de manière à pouvoir compter en toute sécurité sur sa résistance, dans les conditions où elle aura été exécutée.

Nous décrirons le projet de M. Piketty pour un tunnel tubulaire à deux voies, avec le gabarit des convois du chemin de fer métropolitain. Le diamètre intérieur de ce tunnel a été fixé à 7,27 m.

La coupe transversale de l'ouvrage et les détails des parois sont représentés sur les figures 6, 7, 8 et 9.

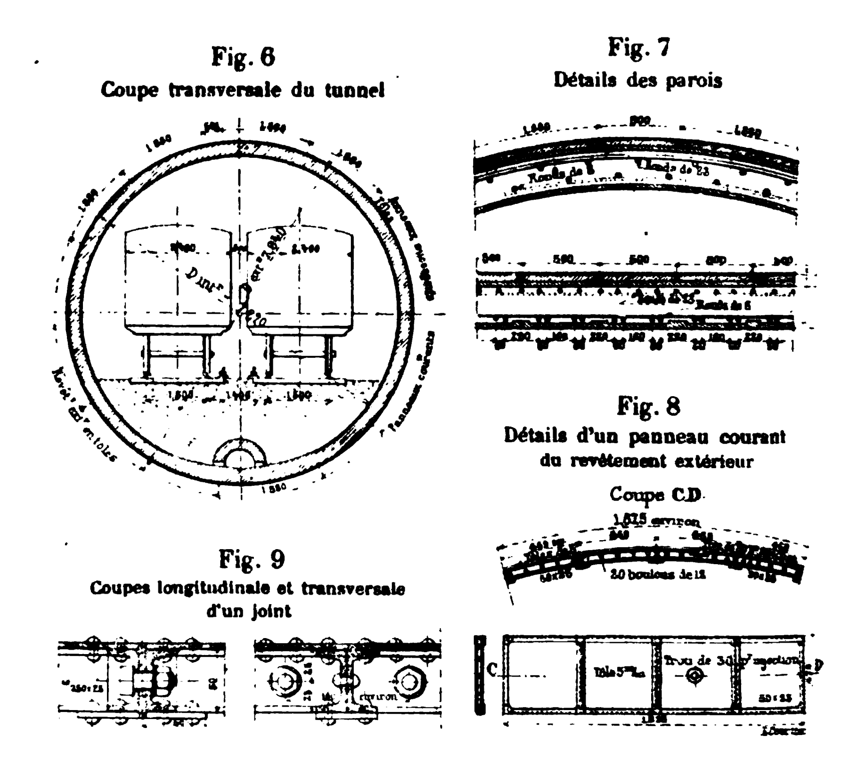



Fig. 6 — Coupe transversale du tunnel

Fig. 7 — Détails des parois

Fig. 8 — Détails d'un panneau courant du revêtement extérieur

Fig. 9 — Coupes longitudinale et transversale d'un joint

On voit que l'on a, en allant de l'extérieur vers l'intérieur :

1° Un *revêtement métallique*, formé de panneaux en tôles minces, raidis par des nervures en profilés, et boulonnés entre eux. Les joints sont rendus étanches par l'interposition de feuilles de bois créosoté. Dans ces panneaux sont ménagés des trous pour l'injection de mortier de ciment, bouchés ultérieurement par des tampons à vis;

2° Un *remplissage*, en béton de gravillons, destinée à remplir l'espace compris entre la tôle et les nervures, et à maintenir la chape ci-après dans l'intervalle des nervures;

3° Une *chape extérieure*, de 0,03 m d'épaisseur, disposée sous le remplissage précédent, les ailes des nervures et les joints.

Elle est affleurée à 0,03 m sous ces derniers, et assure leur étanchéité complète, en arrêtant les infiltrations qui pourraient se produire par les joints, malgré la feuille de bois créosoté interposée.

4° Un *noyau résistant continu, en béton armé*, dont l'épaisseur est de 0,22 m pour le souterrain à deux voies, de 7,27 m de diamètre intérieur;

5° Un *enduit intérieur*, de 0,03 m d'épaisseur.

Les panneaux du revêtement métallique sont représentés (*fig. 8*). Ils sont formés par des tôles de 5 mm d'épaisseur, raidies suivant leur pourtour par des fers en U de 50×25 mm.

Les panneaux courants ont 1,880 m de longueur, et 0,495 m de largeur, ce qui porte à 0,500 m la longueur de chaque anneau, l'cpaisseur des joints étant de 5 mm. Les panneaux courants sont également raidis par trois nervures équidistantes, parallèles aux petits côtés, et formées de deux fers U de 50×25 mm, rivés entre eux et aux tôles.

Les panneaux de clé, prévus pour la facilité du montage, ont 0,500 m de longueur. Mais il est probable qu'en exécution on pourrait les supprimer et adopter sans inconvénient des panneaux ayant tous la même longueur de 2 m environ, car ces panneaux n'ont pas la rigidité des panneaux en fonte, et la hauteur des joints est également moindre. Leur mise en place est également facilitée par leur légèreté relative.

Chaque anneau est monté et posé sur cintres, comme il sera exposé plus loin.

Ainsi constitué, le revêtement métallique est suffisant pour résister aux pressions extérieures, même si l'air comprimé venait à manquer, pour une cause accidentelle avant l'exécution ou la prise complète du béton armé, vers l'avancement, dans la région qui suit le bouclier. Et l'on reprendrait ultérieurement le travail au point où on l'avait laissé.

Tel est le rôle de ce revêtement, en *cours d'exécution.*

Il est à remarquer que, si l'on traversait de très mauvais terrains, la rigidité transversale du revêtement métallique pour-

rait être aussi grande qu'il serait nécessaire, sans augmentation du diamètre extérieur du souterrain. Cette rigidité est, en effet, obtenue par des cintres provisoires, formés de pièces très robustes, tout en laissant un vide suffisant pour une bonne organisation des chantiers. Au besoin, l'on aurait recours à des cintres métalliques.

Lorsque la paroi en béton armé *est exécutée*, le revêtement métallique joue encore un rôle important au point de vue de l'étanchéité, les joints boulonnés étant constitués d'une manière analogue à ceux des revêtements en fonte.

On a prévu, comme pour la fonte, des joints alternés, dans les anneaux successifs du revêtement, bien que cela ne présente plus ici la même importance.

Le remplissage entre les nervures des panneaux a 0,05 d'épaisseur et il est affleuré suivant les bords inférieurs de ces nervures.

Il est en béton de gravillons, à 250 kg de ciment par mètre cube, et se trouve solidement agrafé par les semelles inférieures des nervures.

On le fabriquerait au moyen de moules à surface rugueuse, afin d'assurer une adhérence parfaite avec la chape dont il est recouvert, et qui est exécutée à la main.

Cette chape est destinée à arrêter tous les suintements qui pourraient se produire au travers des joints, et forme ainsi, contre le béton de remplissage du revêtement, une partie étanche absolument continue, passant sous les joints du revêtement métallique en tôle. Elle a 0,03 d'épaisseur, et serait exécutée en ciment prompt de Grenoble au dosage de 1,000 kg par mètre cube de sable.

Avec cette forte épaisseur, ce dosage élevé, et la qualité des ciments employés, on peut estimer que, même si l'enveloppe extérieure en tôle venait à se corroder à la longue, au point de ne plus être étanche, l'eau ne filtrerait pas au travers de la chape extérieure, exécutée à la main dans des conditions de facilités telles que son efficacité doit être parfaite.

Le noyau résistant continu, en béton armé, qui vient ensuite, serait au dosage de 300 kg de ciment Portland pour 0,450 m de sable et 0,800 m. de gravillons.

Les armatures sont constituées par des fers ronds circulaires avec des directrice disposées à l'intérieur, suivant les génératrices.

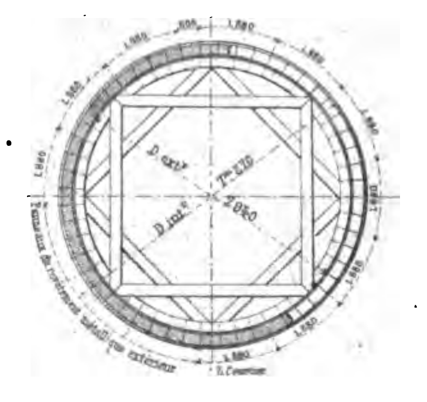
Les épaisseurs du béton armé et les sections des armatures ont été fixées par le calcul. Nous avons vu que les moments de flexion changent de sens suivant les régions d'une même section transversale. Les armatures, symétriquement disposées vers chaque face, assurent une rigidité égale dans les deux sens, et les recoupements des extrémités des barres circulaires se feront dans les zones où les moments de flexion sont le plus faibles.

Les précautions prises avant l'exécution du noyau en béton armé excluent l'idée de suintements pouvant l'atteindre. Si pourtant cela venait à se produire, on remarquera que le béton armé est plus étanche par lui-même que la maçonnerie ordinaire. La compacité due au pilonnage et au dosage élevé du mortier qui entre dans sa composition le met à même d'arrêter, sur une épaisseur comme celle qui serait adoptée, des infiltrations qui ne pourraient lui parvenir qu'après une perte de charge déjà très notable, et le colmatage du béton est un fait d'expérience constant, pour les charges inférieures à 25 m.

Quant à l'enduit intérieur de 0,03 d'épaisseur, il serait, par exemple en mortier de ciment à prise lente, au dosage de 650 kg par mètre cube de sable.

L'adhérence de cet enduit est encore augmentée par des encoches de 0,03 de profondeur et 0,10 environ de largeur, régnant tous les 0,50 m dans le béton armé, et qui sont une conséquence heureuse des procédés employés pour l'exécution des parois.

Fig. 10 - Coupe transversale pendant l'exécution des parois



Les travaux seraient exécutés au moyen de boucliers, sans autres particularités que celles qui résultent de l'emploi du béton armé pour les parois du tunnel.

Le revêtement métallique extérieur est d'abord boulonné par anneaux, à l'abri de la queue du bouclier, puis on monte immédiatement les cintres sur lesquels les panneaux s'appuient suivant les nervures des joints transversaux.

On a représenté (*fig. 10*) un cintre en bois, sur lequel les panneaux prennent appui par l'intermédiaire de tiges rondes, dont

l'extrémité tronconique est engagée dans l'encoche de pet... plaques de centrage disposées sous les nervures du revêteme... métallique extérieur.

L'autre extrémité de ces tiges, qui est cylindrique et filet... se trouve engagée dans un écrou fixe formant corps avec l... cintre.

Les tiges se terminent vers l'intérieur par une tête à pans q... l'on peut faire tourner au moyen d'une clé, pour régler le... portage. Leur longueur correspond au vide à réserver entre les cintres et le revêtement métallique, pour l'exécution de la paroi en béton armé. On les retire ensuite du béton après la prise, lorsque l'on démonte les cintres, et on bouche les tr... correspondants. Ces tiges, tournées et lisses, sont faciles à enle-ver du béton, par suite de leur conicité.

Le revêtement métallique est donc ainsi appuyé sur des cin-tres, disposés tous les 0,50 m. Ces cintres sont entretoisés p... des pièces longitudinales. Ils sont en bois de chêne, et c'es... sur eux que le bouclier prendra son appui pour l'avancement.

Pour l'organisation des chantiers, les prévisions ont été faite... d'après un avancement journalier maximum de 3 m.

En arrière du bouclier nous compterons donc une longueur de 3 m de revêtement métallique, sans remplissage ni chape, puis une autre longueur de 3 m sur laquelle s'exécutent le remplis-sage de 0,05 et la chape de 0,03, enfin en arrière une longueur de 3 m où l'on exécute le béton armé.

Après ces neuf premiers mètres, les cintres se trouvent encas-trés de 0,03 environ dans la paroi résistante en béton armé.

Si l'on veut ne prendre appui sur le béton que sept jours après sa prise, il faudra reculer de $3 \times 7 = 21$ m pour trouver un cintre sur lequel on puisse prendre un appui efficace. On se trouve donc à $9 + 21 = 30$ m du front d'attaque.

Si l'on intéresse vingt cintres à la pression, le dernier cintre contre-venté pour donner un appui au bouclier sera à $30 + 10 = 40$ m du front d'attaque, et l'on peut arriver ainsi, dans des circons-tances normales, à un coefficient de travail en compression, pour le béton, de 7 à 8 kg par centimètres carré, suivant la sur-face de portage des cintres sur le béton, dans la partie encastrée.

On remarquera qu'il ne peut pas y avoir de pertes d'air com-primé, par les parois, pour toute la région dans laquelle le béton armé est construit, et empêche les fuites. Il n'y a plus ici de joints boulonnés apparents, comme avec les revêtements en

onte. Les épuisements seraient assurés par des pompes disposées dans le tube et qui pourraient être commandées électriquement.

On voit que pour un souterrain à deux voies, de 7,27 m de diamètre intérieur, l'épaisseur totale des parois, non compris l'enduit intérieur, est de 0,30 m environ.

Pour un souterrain à voie unique de 5 m de diamètre intérieur, on arriverait à une épaisseur de 0,23 m seulement, le noyau résistant en béton armé ayant 0,15 m d'épaisseur.

Ces épaisseurs sont donc comparables à celles des revêtements en fonte avec panneaux nervurés, et le cube des déblais à extraire à l'air comprimé ne se trouve pas sensiblement augmenté.

S'il n'a pas encore été construit de tunnel tubulaire en béton armé sous des fleuves, par la méthode du bouclier, de nombreux projets ont été étudiés, parmi lesquels nous citerons le projet récent d'un tunnel sous l'Elbe à Hambourg. Ce tunnel à double galerie, dont chaque souterrain aurait 4,80 m de diamètre intérieur, a une longueur de 450 m d'axe en axe des puits, avec parois en tôles renforcées de béton.

Nous rappellerons également que parmi les divers projets étudiés par M. Berlier, pour la traversée de la Seine à Tancarville, il en est un dans lequel on avait prévu l'emploi du béton armé ; ce projet avait été fait en collaboration avec M. Amiot.

### Autres types de revêtements.

Les dispositions précédemment décrites se rapportent plus spécialement au cas des tunnels tubulaires exécutés par la méthode du bouclier.

Nous trouverons des types tout différents avec d'autres procédés d'exécution, ainsi qu'on le verra plus loin, dans la monographie de travaux récents. Ce n'est, en effet, que dans le cours de ces dernières années que l'on a employé des méthodes nouvelles dérivées de celles qui sont en usage pour les fondations des ponts.

L'application la plus importante de ces procédés d'exécution des souterrains va être faite par notre collègue M. Chagnaud pour la traversée sous la Seine de la ligne n° 4 du métropolitain, la partie des ouvrages qui se trouve sous le fleuve sera exécutée par *fonçage vertical* au moyen de caissons à l'air comprimé.

### Boucliers.

Le bouclier employé pour la construction du tunnel de Blakwall paraît résumer tous les perfectionnements qui ont été apportés à ces engins. Il a permis d'exécuter rapidement et sans incidents notables ce souterrain, dont le revêtement en fonte a 8,23 m de diamètre extérieur, ce qui en fait l'ouvrage ayant la plus grande section, après celui de Brunel. L'on a traversé des couches très aquifères de terrains ébouleux et difficiles ; le procédé de blindage du front d'attaque était particulièrement ingénieux.

Ce bouclier a été décrit en détails par M. Amiot dans sa communication. Rappelons seulement qu'il pesait 230 t et que l'effort nécessaire pour le faire avancer a atteint parfois 4.000 t.

L'on construit actuellement en Angleterre un bouclier d'un type analogue, mais encore plus grand, pour l'exécution d'un souterrain dont le diamètre extérieur du revêtement est de 30 pieds, soit 9,144 m. C'est donc, jusqu'à ce jour, le plus grand bouclier du monde. Il sera employé pour l'exécution du nouveau tunnel de Rotherhithe, sous la Tamise, dont le projet sera décrit plus loin.

Dans ce bouclier on n'a pas prévu, comme à Blakwall, un système complet de blindage du front d'attaque.

C'est surtout du côté des procédés mécaniques d'exécution de la fouille que l'on a fait récemment des recherches intéressantes, afin d'arriver à supprimer l'équipe d'ouvriers du front d'attaque, dont le travail est le plus dangereux, et pour obtenir un avancement journalier plus considérable.

En Allemagne, notamment, M. Makensen a fait breveter divers types de boucliers de ce genre.

Les avantages que l'on peut tirer des dispositifs de fouille mécanique dépendent essentiellement de la nature des terrains, qui ne s'y prêtent pas tous également bien. C'est ainsi qu'avec des terrains très durs ou rocheux on n'en tirerait aucun avantage.

D'autre part, avec des terres ébouleuses on peut provoquer des tassements importants, qui seraient particulièrement fâcheux pour des souterrains urbains passant dans le voisinage d'immeubles dont la stabilité serait compromise. Ces tassements sont surtout à craindre avec des procédés mécaniques de fouille dont les effets sont difficiles à contrôler au cours du travail s'il se

produit des excavations en avant du plan du couteau du bouclier.

Par contre, dans des terrains moyennement compacts et d'une bonne tenue, l'on est arrivé, à d'excellents résultats; c'est ainsi que l'on a obtenu des avancements journaliers atteignant 8 m par jour, pendant des périodes de travail étendues, aux travaux de construction du Brompton and Piccadilly Circus Railway, à Londres, avec le bouclier inventé par M. Price, et dont nous donnons la description ci-après.

Ce bouclier n'a travaillé jusqu'à présent que dans le sous-sol de Londres, formé d'argile compacte, par conséquent sans air comprimé. Il serait sans doute susceptible d'être transformé pour être adapté aux conditions du travail à l'air comprimé, dans des terrains aquifères consistants.

Le bouclier système Price se compose d'une enveloppe circulaire extérieure, convenablement renforcée, raidie par une poutre horizontale robuste.

Cette poutre supporte un arbre horizontal sur lequel sont montés six bras en fers à U, dont les extrémités sont reliées par une armature circulaire portant sur sa face intérieure une couronne dentée.

L'ensemble constitue une sorte de roue dont le mouvement de rotation est obtenu au moyen d'une dynamo qui commande la couronne dentée par une série d'engrenages.

Sur chacun des bras, du côté du front de taille, sont fixés des couteaux en acier, en nombre variable, destinés à découper le sol, et vers les extrémités des bras l'on a une sorte de cuillère, analogue à celle des excavateurs, qui détache vers la périphérie le terrain déjà entamé par les couteaux, et ramasse celui qui tombe à la partie inférieure du bouclier.

Les terres sont déversées, à la partie supérieure, par les cuillères, sur un plan incliné, d'où elles tombent sur un transporteur mécanique qui les emmène aux wagonets d'évacuation des déblais.

Les presses hydrauliques sont réparties sur la périphérie de l'enveloppe. Et ainsi que cela se fait maintenant fréquemment, leur nombre est plus grand à la partie inférieure du bouclier que dans le haut, afin de combattre plus aisément la tendance de ces engins à plonger vers l'avant, que l'on observe d'une façon d'autant plus marquée que leur poids est plus lourd.

L'argile de Londres, dans laquelle ce bouclier a fonctionné,

contient parfois des blocs de rocher assez volumineux. S'il arrive que des couteaux soient brisés, leur remplacement est facile et rapide et la dépense tout à fait minime.

## II. — MONOGRAPHIE DE QUELQUES TRAVAUX RÉCENTS

Parmi les travaux les plus récents, présentant des particularités de construction intéressantes, il y a lieu de mentionner plus spécialement le tunnel de Rotherhithe, sous la Tamise, à Londres, et les tunnels récemment terminés ou en cours d'exécution, à New-York, sous les divers bras de l'Hudson : North River, East River et Harlem River.

### Tunnel de Rotherhithe,

SOUS LA TAMISE, A LONDRES.

Cet ouvrage, dont les travaux viennent de commencer sera surtout remarquable par ses dimensions. Il a une section circulaire dont le diamètre extérieur est de 30 pieds, soit 9,144 m, dans la partie de l'ouvrage comportant un revêtement métallique en fonte. Le diamètre intérieur est de 27 pieds, soit 8,230 m. C'est donc le tunnel tubulaire à section circulaire le plus important de tous ceux qui ont été construits jusqu'à ce jour.

Il sera exécuté par la méthode du bouclier, et nous avons donné précédemment quelques renseignements généraux sur cet engin qui est analogue à celui du tunnel de Blackwall, car l'on traverse des terrains semblables.

Le tunnel de Rotherhithe est également un tunnel pour route, avec trottoirs latéraux, comme celui de Blakwall, et les dispositions générales adoptées, en sections transversales, sont les mêmes.

Le plan général de l'ouvrage et le profil en long sont représentés (*Pl. 108, fig. 1 à 5*).

On voit que la traversée de la Tamise s'effectue obliquement et en ligne droite, et le profil en long, dans cette partie de l'ouvrage, paraît indiquer une hauteur de terre minima de 3 m environ au-dessus du tube. La chaussée est à 20 m au-dessous du plan des hautes eaux du fleuve.

La longueur totale de l'ouvrage est de 2 100 m environ, compris les accès. Il y a quatre puits verticaux, deux sur chaque rive.

A chaque extrémité, on a une partie en tranchée ouverte,

prolongée par une partie en tunnel à section circulaire et revêtement en briques jusqu'au premier puits, puits n° 1 du côté Rotherhithe rive droite, puits n° 4 du côté Ratcliff, rive gauche.

Entre les puits n° 1 et n° 4 s'étend la partie de l'ouvrage exécutée par la méthode du bouclier, avec revêtement métallique en fonte, et dont la longueur totale est de 1 124 m environ.

La partie centrale du tube, sous la Tamise, a une longueur de 479 m d'axe en axe des puits n$^{os}$ 2 et 3.

La section transversale de l'ouvrage est représentée *(Pl. 108, fig. 3)*.

La largeur de la chaussée est de 4,88 m; les trottoirs ont 1,44 m. La chaussée est en béton, reposant sur une voûte longitudinale en briques. La surface de la chaussée est recouverte d'une couche d'asphalte de 51 mm dans la partie tubulaire; elle est pavée aux accès. Les bordures sont en granit ainsi que les plinthes extérieures le long des trottoirs, contre le revêtement. Ce revêtement est garni de carreaux blancs émaillés sur toute la longueur du tunnel.

Le diamètre intérieur de la section circulaire de l'ouvrage est uniformément de 8,23 m.

Dans les tunnels d'accès avec parois maçonnées en briques l'épaisseur des parois est de 0,57 m. Elles sont recouvertes extérieurement d'un enduit d'asphalte de 38 mm, qui en assure l'étanchéité.

Dans la partie tubulaire, avec revêtement métallique en fonte, il y a trois types de revêtement. Le revêtement, dans la partie sous la Tamise, est celui indiqué sur la coupe transversale et il est représenté en détails *(Pl. 108, fig. 4 et 5)*.

L'épaisseur totale des parois, compris remplissage et carrelage intérieur, est de 0,46 m pour toute la voûte, au-dessus de la chaussée.

Le revêtement en fonte est formé, à la manière ordinaire, de panneaux nervurés boulonnés entre eux. Les joints longitudinaux des anneaux successifs sont alternés. Ces anneaux ont 762 mm de longueur. Ils sont formés de seize panneaux courants et d'une clé. Cette dernière a 352 mm de longueur, les panneaux courants voisins de la clé ont 1,460 m, les quatorze autres panneaux 1,818 m. Les nervures des joints boulonnés ont 356 mm de hauteur.

L'épaisseur des plaques est de 51 mm. Elles sont, en outre, renforcées vers le milieu de chaque panneau par d'autres ner-

vures. Enfin les nervures des joints sont raidies par des nervures triangulaires normales. Les dimensions et épaisseurs de ces nervures sont indiquées sur les figures 4 et 5.

Ce type de revêtement règne sous le fleuve, entre les puits nos 2 et 3.

Il y a un deuxième type renforcé sur la rive gauche au delà du puits no 3, sur 45,72 m de longueur, par suite des fortes surcharges d'un bâtiment industriel qui se trouve à cet endroit. L'épaisseur des plaques constituant les panneaux est portée à 57 mm, les dimensions des nervures étant les mêmes que précédemment, mais la largeur des panneaux, et, par suite, la longueur des anneaux du revêtement, est réduite à 508 mm dans cette partie de l'ouvrage.

Le troisième type de revêtement, le plus léger, règne sur le reste de la partie métallique entre les puits nos 1, 2 et 3, 4.

L'épaisseur des plaques est alors de 46 mm. Les nervures de boulonnage ont toujours 356 mm de hauteur; leurs épaisseurs, ainsi que celles des autres nervures, sont un peu moindres que précédemment. La largeur des panneaux et, par suite, la longueur des anneaux, est de 762 mm dans la partie du tunnel métallique; elle n'est plus que de 508 mm, suivant l'axe de l'ouvrage, dans la partie en courbe de 244 m environ de rayon. La largeur des anneaux est un plus faible vers l'intérieur de la courbe, un peu plus forte vers l'extérieur.

Aucune matière plastique n'est interposée dans les joints, dont les faces sont parfaitement dressées, ce qui donne un portage suffisant pour assurer l'étanchéité. Une gorge est ménagée vers le bord intérieur des nervures, que l'on remplit ensuite de ciment pour compléter l'étanchéité. Pour éviter tout suintement par les trous de boulons, ceux-ci viennent comprimer par leurs rondelles de portage des bagues en plomb disposées autour de la tige des boulons, dans une gorge conique ménagée suivant l'arête intérieure du trou de boulon, vers chaque face du bossage de la nervure.

Les boulons ont 38 mm de diamètre.

Ils sont disposés sur une seule ligne dans les nervures des joints verticaux transversaux. Dans les joints horizontaux, il y a deux rangées de boulons disposées en quinconce. Cette disposition est évidemment excellente pour augmenter la rigidité de ces joints horizontaux qui sont le plus sujets aux fatigues sous l'action des flexions transversales. La suppression de toute ma-

tière interposée dans le joint concourt également à augmenter la résistance aux efforts de flexion. Dans chaque panneau est ménagé un trou d'injection de 38 mm de diamètre, bouché ultérieurement par un tampon à vis. Enfin, au milieu de chaque panneau, une nervure percée de deux trous permet de les fixer à l'appareil de levage servant à la mise en place des panneaux du revêtement.

La section des puits est circulaire; leur diamètre extérieur est de 18,29 m et leur diamètre intérieur de 15,25 m.

Nous décrirons maintenant, d'une façon sommaire, les travaux des tunnels sous les divers bras de l'Hudson, à New-York, d'après des renseignements puisés dans les journaux techniques, notamment l'*Engineering Record* et le *Génie Civil.*

## Tunnel sous la North River

### du Pennsylvania and Long Island Railroad.

Ce tunnel double, à voie unique pour chaque tube, sera exécuté par la méthode du bouclier. Chaque galerie est circulaire, avec revêtemement métallique en fonte composé de panneaux boulonnés.

Mais le manque de consistance des terrains traversés a fait craindre des tassements ultérieurs de l'ouvrage, sous l'action des surcharges des trains.

Après l'exécution d'un revêtement intérieur en béton, avec banquettes latérales de circulation, le poids propre du souterrain est sensiblement égal à son déplacement.

Aussi dans la partie de l'ouvrage situé sous le fleuve les surcharges de la voie seront-elles reportées directement sur les terrains plus résistants qui se trouvent à un niveau inférieur par des *pieux à vis*, disposés tous les 4,60 m, et foncés de l'intérieur même du tube après sa construction.

Le diamètre extérieur du revêtement en fonte est de 7,01 m et le diamètre intérieur, pour la partie supérieure du tube, est de 5,79 m, soit une épaisseur totale de voûte de 0,61 m avec le remplissage en béton Les banquettes latérales de circulation ont 1,12 m de largeur libre totale.

La longeur totale de la partie tubulaire à double galerie est de 7 214 m environ, dont 3 652 sur pieux à vis. Le revêtement en fonte est semblable, sur toute la longueur de l'ouvrage.

Il est formé d'anneaux de 0,76 m de longueur, composés de onze panneaux courants et d'une clé.

Les joints de boulonnage sont parfaitement dressés et munis de cannelures de calfatage. Au montage, les cannelures ayant été bien nettoyées par un jet d'eau sous pression, on les remplit d'un mélange de sel ammoniac avec des copeaux de fer dont l'oxydation ultérieure permet d'avoir une bonne étanchéité.

On fait, à la manière ordinaire, une injection de mortier de ciment sous pression au travers des panneaux du revêtement, par des trous d'injection bouchés ensuite par des tampons à vis.

Aux endroits où doivent être enfoncés les pieux, le panneau inférieur porte une ouverture spécialement étudiée pour laisser passer l'hélice du pieu et qui est provisoirement fermée par un tampon pendant le montage du revêtement métallique.

Les pieux sont des tubes cylindriques en fonte, de 680 mm de diamètre extérieur et de 32 mm d'épaisseur. Ils sont composés de tronçons de 2,15 m de longueur assemblés au moyen de brides intérieures dont les surfaces en contact ont été bien dressées.

L'assemblage des tronçons s'effectue par quatre boulons, qui n'ont à supporter aucun effort de cisaillement pendant le vissage des pieux, car les efforts de torsion sont transmis d'un tronçon au suivant par l'intermédiaire de douze goujons doublement tronconiques, parfaitement tournés et s'ajustant exactement dans des logements de même forme ménagés dans l'épaisseur des brides.

Le dernier segment de 740 mm de longueur, en acier moulé, porte une spire d'hélice prenant appui sur le bon sol, lorsque le pieu est vissé à la profondeur voulue.

Pour diminuer les efforts nécessaires pour le vissage des pieux, le dernier tronçon portant la vis est ouvert à sa partie inférieure, et l'arête inférieure porte un chanfrein.

Pour la mise en place des pieux, qui s'effectue avant l'exécution du revêtement bétonné, le tunnel est divisé en compartiments par des cloisons étanches. Les compartiments sont mis en pression par l'air comprimé pendant cette opération du vissage des pieux, qui s'effectue par une machine spéciale actionnée par l'eau sous pression.

Comme on ne peut prévoir la longueur exacte de chaque pieu, on a rivé au panneau inférieur du revêtement du tunnel un manchon d'acier dans lequel passe le pieu et dont la longueur de

2,95 m est supérieure à celle d'un tronçon. Lorsque le pieu sera vissé à refus, on pourra donc démonter le tronçon supérieur, à l'intérieur de ce manchon, le couper à la longueur voulue et le remettre en place, sans avoir à craindre la rentrée des eaux.

L'intérieur de chaque pieu sera ensuite vidé sur une hauteur de 3,60 m, puis rempli de béton et fermé par un disque boulonné, muni d'un bouchon à vis, par lequel on peut faire, si c'est nécessaire, une injection de coulis de ciment sous pression.

Comme la descente des pieux peut ne pas être bien verticale, les têtes sont munies d'anneaux à faces inclinées, de sorte que la face supérieure soit rigoureusement de niveau. Par-dessus sont fixées les poutres transversales servant d'appui aux longerons qui supportent la voie. Les surcharges des convois sont donc directement transmises aux pieux et non au cuvelage du tunnel.

Néanmoins, des brides sont aménagées sur le revêtement en fonte, pour que la voie y prenne appui, en cas de besoin.

Le raccordement du tunnel, situé au-dessous du fleuve, avec la partie située sous les rives, se fait par un joint télescopique permettant un léger jeu dans le sens transversal et longitudinal, dans le cas où il se produirait des tassements inégaux dans cette région de raccordement, après la terminaison de l'ouvrage.

Le jeu longitudinal sera annulé pendant la construction par des blocs de fonte placés dans le vide intérieur de 20 cm qui existe en arrière de l'anneau de jonction, afin d'avoir une butée complète du revêtement du tunnel en rivière, car il doit résister aux réactions des vérins hydrauliques prenant appui sur lui, pour l'avancement du bouclier.

Le joint peut être calfaté pour éviter des infiltrations d'eau et de boue. Une fois les tassements produits d'une façon définitive, le raccordement sera probablement modifié et rendu rigide.

## Tunnel sous l'East River

DU RAPID TRANSIT RAILROAD, ENTRE NEW-YORK ET BROOKLYN.

Le nouveau chemin de fer métropolitain de New-York aura la partie de son réseau située dans l'île de Manhattan reliée à celui de Brooklyn par un tunnel à galeries jumelées passant sous l'East River.

On se trouve dans des terrains rocheux du côté de New-York, tandis que du côté de Brooklyn on rencontre des couches très différentes, relativement meubles et aquifères.

Aussi les procédés d'exécution ont-ils différé en conséquence, dans les deux chantiers ouverts simultanément, à chaque extrémité de l'ouvrage, et qui marchent l'un vers l'autre.

Du côté de New-York, les travaux de percement dans le rocher ont été faits à la mine ; du côté de Brooklyn, avec des terrains ébouleux et aquifères, on a fait usage du bouclier, avec l'air comprimé.

Dans la partie sous la rivière, sur une longueur de 2,095 m, le tunnel est formé de deux tubes jumelés de section circulaire, à voie unique, dont le diamètre intérieur est de 4,72 m et distants de 7,62 d'axe en axe. Le revêtement métallique des tubes est en fonte, la longueur des anneaux est de 0,56 m, chaque anneau comprenant huit panneaux courants de 2 m environ de longueur et un panneau de clé de 0,30 m.

L'épaisseur du métal est de 28 mm, les nervures de boulonnage ont 180 mm, elles sont rabotées sur 130 mm. Les 50 mm restant sont en retrait, et forment un vide pour le calfatage. L'assemblage se fait sans aucune garniture, l'ajustage des parties rabotées suffisant pour donner un excellent joint.

Nous examinerons sommairement les particularités du travail à chacune des attaques.

*Côté de New-York.* — Le percement des galeries à la mine, dans le rocher, a demandé des précautions spéciales, en raison de la faible épaisseur de rocher restant au-dessus de la galerie, à mesure que l'on avance sous le fleuve.

Parfois cette épaisseur n'est que de 0,60 m au-dessus du tube. On opérait donc avec des charges de dynamite réduites et l'on étayait le toit aussitôt avec des cadres en bois et des palplanches. L'air comprimé était maintenu dans la galerie, car la roche solide, de densité variable, est fissurée, et l'on aurait eu des infiltrations d'eau.

Les anneaux du revêtement en fonte sont montés immédiatement derrière le front de taille, et, comme il reste des vides importants tout autour, ils sont bloqués au fur et à mesure du montage par un remplissage en pierres sèches. On injecte ensuite au travers des panneaux du revêtement un mortier clair de ciment sous pression, qui remplit tous les vides et transforme ce remplissage en un béton compact et étanche.

Le montage des panneaux du revêtement s'effectue au moyen d'une plate-forme roulante, portant les appareils de manœuvre et de levage.

Cette plateforme roule sur des galets supportés par les consoles démontables, boulonnées au revêtement, à la hauteur de l'axe du tunnel.

Les panneaux amenés au chantier de pose sont pris et mis en place par un appareil appelé « erector » par les constructeurs de cet engin, et qui n'est autre qu'une grue hydraulique dont le bras tourne autour d'un pivot horizontal fixé sous la plate-forme roulante, dans l'axe du souterrain.

Avec une équipe de quatre monteurs, on peut assembler un anneau complet en une heure.

Cet appareil est analogue aux grues hydrauliques employées pour le montage des anneaux et qui sont généralement fixées à l'arrière des boucliers.

C'est ainsi qu'au tunnel de Blakwall le montage s'effectuait par deux engins de ce genre, qui pivotaient par suite sur des axes horizontaux excentrés par rapport au centre du souterrain. Cette disposition augmente, pour chaque engin, l'amplitude des variations de longueur du bras radial, pour la mise en place des panneaux, mais il était nécessaire, au tunnel de Blakwall, d'avoir deux grues de montage, vu le très grand diamètre du souterrain, pour réduire la durée de ce montage.

Avec les dimensions beaucoup plus réduites du souterrain sous l'East River, une seule grue hydraulique est suffisante, et en la disposant, comme on l'a fait, à l'avant d'une plate-forme mobile indépendante, on est arrivé à de bons résultats.

Aussi cette disposition a-t-elle été conservée aux chantiers du côté Brooklyn; le montage des anneaux a été fait au moyen du même engin disposé sur une plate-forme roulante, en arrière du bouclier nécessaire pour l'exécution de la fouille, au front d'attaque.

Les dimensions de la plate-forme sont de 3,20 m de longueur, pour 4,25 m en largeur. Son poids total, avec toute la machinerie, est de 3 000 kg environ et trois hommes suffisent à sa manœuvre.

*Côté Brooklyn.* — Les sas à air, formés de tubes métalliques cylindriques, sont compris entre deux murs en briques fermant le tube, à une distance de 30 m environ du puits d'attaque.

Il y a deux sas: le sas inférieur, employé principalement pour

l'évacuation des déblais et qui a 2 m de diamètre et 6 m de longueur; le sas supérieur, destiné au passage des hommes, des longues pièces de charpente, des tuyaux, des rails, a 1,60 m de diamètre et 9,75 m de longueur. Ce second sas est aussi prévu comme appareil de secours, dans le cas où les eaux envahiraient la partie inférieure de la galerie.

Le bouclier employé ne présente pas de particularités bien notables. Il a 5,16 m de diamètre et 2,90 m de longueur, son poids est de 50 t.

## Tunnel sous la Harlem River

### du Rapid transit Raiload.

Cet ouvrage n'a que 127 m de longueur, mais il est très intéressant, par l'originalité des procédés d'exécution employés.

Le métropolitain de New-York traverse la rivière de Harlem dans deux tubes jumelés, en fonte, établis au fond d'une tranchée draguée dans le lit de la rivière.

La section transversale de l'ouvrage est représentée figure 11.

Les tubes ont 4,57 m de diamètre intérieur et leur distance d'axe en axe n'est que de 3,80 m. Ils sont donc séparés par une cloison verticale, formée également de panneaux en fonte boulonnés.

Le tout est enveloppé d'un épais massif en béton dont la partie supérieure affleure au niveau du fond du lit.

La longueur des anneaux des tubes est de 1,84 m; ils sont renforcés de nervures transversales. Chaque tube compte sept segments.

La cloison verticale est divisée en deux parties dans le sens de la hauteur, et ses nervures sont percées de trous, pour le passage des câbles électriques qu'elles supportent.

L'épaisseur des parois des tubes est de 25 mm, et les segments sont recouverts d'un remplissage intérieur. Le massif de béton qui enveloppe le tout a 9,60 m de largeur pour 5,95 m de hauteur. Son épaisseur minimum est de 0,30 m sous le tube et 0,75 au-dessus. La mise en place s'est effectuée en deux opérations, par des procédés un peu différents :

Pour la *partie Ouest*, après avoir dragué une tranchée au fond du fleuve, dans l'axe de l'ouvrage, on a battu, au fond de cette tranchée, et de chaque côté, une file de pieux servant d'appui à un blindage étanche en gros madriers.

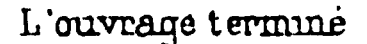
On a fermé également les extrémités de la fouille par un blindage transversal étanche, et tous les bois ont été recépés dans un plan horizontal situé à 7,50 m au-dessous du niveau des eaux.

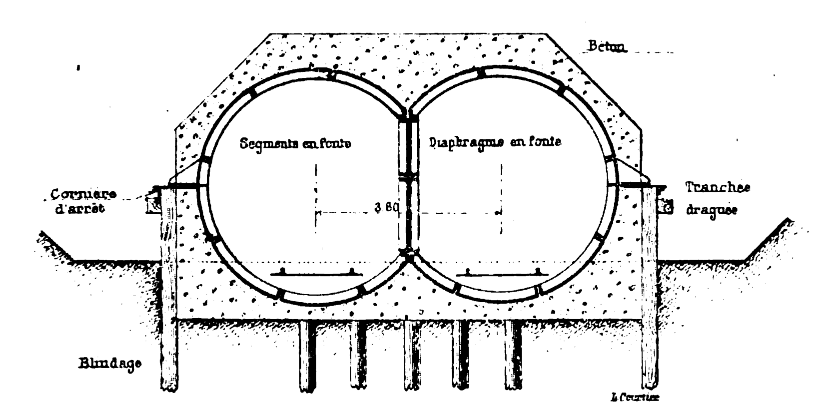
On a recouvert ensuite le tout d'une plate-forme étanche en bois. L'ensemble forme une chambre de travail, dans laquelle

Fig. 11 - Tunnel sous la Harlem-River - Coupes transversales

Pendant la Construction

Béton
Fond du lit du Fleuve
Segments en fonte
Tranchée draguée
Au niveau des hautes eaux 14m60
Fond de Fouille
Blindage




on a épuisé l'eau et insufflé de l'air comprimé ; ce qui a permis d'exécuter aisément le massif de fondation en béton, de monter les panneaux des tubes, et de bétonner tout autour. On a enlevé ensuite la plate-forme supérieure, après l'exécution du travail.

Pour la *partie Est* de l'ouvrage, on a simplifié encore ce procédé en supprimant la plate-forme provisoire en bois; c'est la moitié supérieure des tubes qui en tient lieu.

On voit sur la figure que cette partie du revêtement en fonte, préalablement montée, boulonnée et recouverte de béton, repose, après son immersion, sur la partie supérieure des bois du blindage étanche, qui sont recépés 4 m plus bas que dans la méthode précédente. En envoyant de l'air comprimé dans la chambre de travail ainsi constituée, sous la partie supérieure du revêtement, on peut ensuite terminer l'excavation et achever l'exécution des tunnels.

Le montage des tronçons s'effectue par longueurs de 28 et 30 m sur un ponton flottant disposé vers la berge entre deux estacades latérales de service, de chaque côté de la tranchée draguée.

Les tronçons sont ensuite amenés dans le fleuve, à leur emplacement définitif, le ponton flottant est démonté et retiré, et le tube préalablement suspendu aux estacades de service par des tiges verticales latérales noyées dans le béton du revêtement est immergé progressivement en le surchargeant. La traction sur les tiges de suspension est faible, car les tronçons constituent des caissons flottants remplis d'air, ils reposent en effet sur un plancher horizontal étanche, et ils sont fermés vers leurs extrémités dans le plan du joint transversal de boulonnage du dernier anneau avec le précédent par des cloisons verticales provisoires en tôle. Un trou d'homme ménagé dans les derniers anneaux permet à des scaphandriers de pénétrer dans la chambre de travail ainsi réservée entre les cloisons provisoires de deux tronçons successifs, et d'effectuer le boulonnage des joints. On épuise alors et on envoie l'air comprimé dans cette chambre. Puis les cloisons provisoires sont coupées, et enlevées.

Les tirants horizontaux en bois que l'on voit en coupe transversale empêchent le demi-revêtement supérieur de s'ouvrir, pendant la construction, sous l'action des charges qu'il supporte.

Il repose sur les blindages latéraux par l'intermédiaire de consoles extérieures venues de fonte, sous lesquelles sont rivées des tôles longitudinales d'appui, bordées d'une cornière, extérieurement au blindage. Cette cornière empêcherait que le demi revêtement supérieur ne tende à se fermer, sous l'action des poussées accidentelles des talus de la fouille, car elle viendrait alors buter contre le blindage.

Dans les deux procédés d'exécution de cet ouvrage, le fond

de la fouille est à 14,60 m au-dessous du niveau moyen des eaux. On voit que le second procédé est plus simple, et permet une notable économie sur le cube des bois employés.

## III. — TRAVAUX DES NOUVELLES LIGNES DU MÉTROPOLITAIN ET TRAVERSÉE SOUS LA SEINE

Les nouvelles lignes métropolitaines traversant sous la Seine, et dont nous donnerons ici une étude sommaire, sont :

La ligne de Montmartre-Montparnasse, avec ses prolongements ;

La ligne n° 4 du Métropolitain municipal, ligne de la porte de Clignancourt à la porte d'Orléans ;

La ligne n° 8 d'Auteuil à l'Opéra.

Nous donnerons également quelques renseignements sur les difficultés spéciales des travaux de la ligne n° 5, aux abords du pont d'Austerlitz et du canal Saint-Martin.

Ces diverses lignes sont représentées sur le plan général du métropolitain *(Pl. 108, fig. 9)*.

### Ligne de Montmartre-Montparnasse et prolongements.

La demande en concession de la ligne de Montmartre à Montparnasse a été faite, par notre collègue M. Berlier, à la date du 15 mai 1899. La ligne proposée allait de la place des Abbesses, à Montmartre, jusqu'à la place de Rennes devant la gare Montparnasse.

Le Conseil municipal en vota la concession à MM. Berlier et Janicot, sous réserve de prolonger la ligne, vers chacune de ses extrémités, jusqu'aux fortifications, de la gare Saint-Lazare à la porte de Saint-Ouen, et de la gare Montparnasse à la porte de Versailles.

Les diverses formalités administratives, pour la partie principale de la ligne, sont terminées, et les travaux pourront par suite être commencés prochainement.

En résumé, la ligne complète, telle qu'elle sera construite, va de la porte de Versailles à la porte de Saint-Ouen, avec embranchement à la gare Saint-Lazare, jusqu'à la place des Ab-

besses. La traversée sous la Seine a lieu en aval du pont Concorde.

Comme la ligne passera sous le boulevard Raspail, qu encore inachevé, les demandeurs en concession ont insér leur contrat une clause par laquelle ils s'engagent à vers Ville, pour le *percement du boulevard Raspail*, une somm 500 000 f, qui sera portée à 1 million, 1 500 000 ou 2 millio francs, suivant l'avancement des travaux de percement du levard, au moment où l'on commencera l'exécution de la l...

Il est intéressant de rappeler cette clause, car des com naisons financières analogues ont été étudiées pour l'ach ment du boulevard Haussmann qui pourrait être facilit l'existence d'une ligne métropolitaine suivant les grands b vards et prolongée sous le boulevard Haussmann, dans sa p encore inachevée.

La ligne de Montmartre à Montparnasse est entièrement s terraine, et dans certaines parties du tracé le tunnel se t vera, sur toute sa hauteur, au-dessous du plan des eaux sou raines.

Les renseignements recueillis ont, en effet, démontré qu plan des eaux, sur la rive gauche, est sensiblement celu fleuve, soit 27,00 environ.

Il existe cependant, dans les parages de la gare Montparnas une nappe supérieure dont la cote moyenne, constatée à p sieurs reprises, a été trouvée égale à (28 00), mais elle ne p sentera pas de difficultés d'épuisement bien sérieuses, car el n'a pu suffire à l'alimentation de puits forés dans le quartier p plusieurs industriels.

Les prévisions pour l'établissement des sections-types du sou terrain ont donc été faites d'après la cote moyenne (27,00) po le niveau des eaux sur la rive gauche.

Les conditions sont sensiblement différentes sur la rive droi où les sondages accusent des terrains moins perméables.

Les travaux de la ligne n° 1, de la porte de Vincennes à la porte Maillot, exécutés au croisement avec le collecteur de Clichy, ont rencontré des eaux à la cote (25,67.) Ceux de la ligne n° 3, Courcelles-Ménilmontant, ont indiqué place de Rome, la cot (24,58).

La ligne joignant ces deux points a été admise pour obtenir le niveau probable des eaux dans les diverses régions de la lign Montmartre-Montparnasse, sur la rive droite.

Le souterrain est à deux voies, et le gabarit intérieur est celui du métropolitain municipal. Mais la traversée sous la Seine s'effectue dans deux tunnels tubulaires à voie unique, et à section circulaire, de 5 m de diamètre intérieur, avec revêtement en fonte, qui seront exécutés par la méthode du bouclier.

Avant d'étudier plus en détails cette partie sous la Seine, nous compléterons les renseignements qui précèdent par une description sommaire de l'ensemble de la ligne, avec l'indication des types de souterrains adoptés, suivant les pressions des eaux, dans les parties le plus profondément immergées.

La ligne part de la porte de Versailles à Vaugirard, suit la rue de Vaugirard jusqu'au boulevard Montparnasse, prend ce boulevard pour passer devant la gare Montparnasse à la place de Rennes, suit la rue de Rennes jusqu'au boulevard Raspail, qu'elle emprunte ensuite jusqu'au boulevard Saint-Germain.

De là, par le boulevard Saint-Germain, elle arrive à la place de la Concorde après avoir passé sous la Seine en aval du pont de la Concorde. Elle suit ensuite la rue Boissy-d'Anglas et la rue Pasquier, puis continuant par la rue Saint-Lazare et la gare Saint-Lazare monte la rue d'Amsterdam pour arriver à la place Clichy, et enfin, par l'avenue de Saint-Ouen, vient se terminer à la porte de Saint-Ouen.

A la gare Saint-Lazare se détache l'embranchement qui va vers Montmartre, en suivant la rue Saint-Lazare, la place de la Trinité, la rue Blanche, la rue Pigalle, la place Pigalle, la rue Houdon, et vient se terminer à la place des Abbesses.

La ligne passe en-dessous des lignes concédées du métropolitain municipal, qu'elle rencontre aux points suivant :

Sur la rive gauche :

1° Au boulevard Pasteur, la ligne n° 2, circulaire sud, actuellement construite ;

2° A la rue de Rennes, la ligne n° 4, porte de Clignancourt à la porte d'Orléans, en construction;

Sur la rive droite :

3° A la place de la Concorde, la ligne n° 8 projetée, Auteuil-Opéra ;

4° A la place de la Concorde, la ligne n° 1, porte de Vincennes-porte Maillot en exploitation ;

5° Rue Saint-Lazare, au droit de la cour de Rome, la ligne n° 3 Courcelles-Ménilmontant, en exploitation;

6° Place Clichy, la ligne n° 2, circulaire nord, en exploitation;

7° Place Pigalle, la ligne n° 2, circulaire nord, en exploitation (traversée par l'embranchement de la gare Saint-Lazare à la place des Abbesses).

En chacun de ces points, éventuellement et s'il y a lieu, des galeries mettront en communication les deux réseaux.

Les difficultés spéciales du tracé ont nécessité l'emploi de quelques courbes de 50 m de rayon, mais leur nombre en a été réduit au minimum. Le maximum des pentes et rampes est de 0,04 m par mètre, et les déclivités ont été réduites dans les courbes.

SECTIONS DU SOUTERRAIN. — Le *souterrain courant*, à deux voies, maçonné et voûté, règne sur toute la ligne, à l'exception de la traversée sous la Seine par des tunnels tubulaires, et du passage sous le chemin de fer de Ceinture, à la porte de Saint-Ouen, qui est prévu en tranchée couverte.

Le gabarit intérieur est celui du métropolitain municipal, mais le type courant a dû être renforcé dans certaines régions, suivant les profondeurs de la ligne dans la nappe souterraine.

Lorsque la hauteur du plan d'eau ne dépasse pas 1,50 m au-dessus du fond du radier, le type courant est suffisant.

Pour des hauteurs d'eau de 1,50 m à 3,00 m, on a établi un type spécial à piédroits et radier renforcés. L'épaisseur des maçonneries est alors de 1 m aux piédroits et 0,70 m au radier. La voûte devant être hors des eaux reste celle du souterrain courant.

Pour des hauteurs d'eau supérieures à 3,00 m, l'épaisseur de la voûte a été portée à 0,80 m, les piédroits et radier étant les mêmes que dans le type précédent.

Pour les *stations*, la voûte surbaissée du métropolitain municipal a été adoptée partout où l'on disposait d'une largeur suffisante pour l'établir.

Cela n'est pas toujours possible, par suite de l'étroitesse de certaines rues. On a prévu alors un type spécial, dont le surbaissement moins considérable permet de diminuer l'épaisseur des piédroits.

La largeur dans œuvre a pu être réduite dans ce cas à 13,30 m en conservant des quais de 4,00 m de largeur. La largeur hors œuvre est de 16,30 m. Dans le type normal, la largeur dans œuvre est 14,14 m et 18,14 m hors œuvre.

Les stations, toutes en palier, ont une longueur uniforme de 75 m.

Les deux types précédents de stations sont adoptés lorsque la hauteur d'eau ne dépasse pas 1,50 m au-dessus du radier.

Pour des hauteurs d'eau supérieures, on a des types renforcés dérivés des deux précédents.

Dans le premier cas, pour des hauteurs d'eau de 1,50 m à 3 m, l'épaisseur du radier est portée à 0,90 m et les piédroits ont 2 m, comme au type normal.

Pour des hauteurs d'eau supérieures à 3 m, le radier à 0,90 comme précédemment, mais les piédroits ont 2,50 m d'épaisseur et la voûte 1 m à la clé.

Dans le deuxieme cas, il n'a été nécessaire de prévoir qu'un seul type renforcé, pour des hauteurs d'eau supérieures à 3 m. Le radier a 0,80 m d'épaisseur, les piédroits 2 m, et la voûte 0,90 m.

### Traversée sous la Seine.

La longueur des tunnels tubulaires jumelés, à section circulaire, pour la traversée sous la Seine, sera de 600 m. Leur diamètre intérieur est de 5 m. Le profil en long comporte une partie en palier, sous le fleuve, sur 100 m de longueur, et deux rampes d'accès, de 0,0296 m vers la rive gauche et 0,0246 vers la rive droite.

La cote du rail est à 13,05 m dans la partie la plus profonde en palier, et le fond du fleuve est à 22,25 m environ, soit 9,20 m au-dessus du niveau du rail. La partie supérieure des tubes sera ainsi à 4,85 m environ au-dessous du fond du fleuve *(fig. 12)*.

Le tracé en plan de la ligne, dans sa partie tubulaire, est représenté *(Pl. 108, fig. 6)*. La ligne qui suit le boulevard Saint-Germain traverse très obliquement sous le quai d'Orsay et passe sous la berge rive gauche dans une partie en courbe de 125 m de rayon moyen pour se redresser ensuite et passer à peu près normalement sous la berge rive droite, en se prolongeant en ligne droite sous la place de la Concorde.

La distance d'axe en axe des deux tubes, sous la Seine et aux abords, est de 15,20 m. Vers les extrémités, ils se rapprochent ensuite progressivement pour aboutir aux raccordements maçonnés du souterrain courant.

Le revêtement en fonte ne présentera aucune particularité notable.

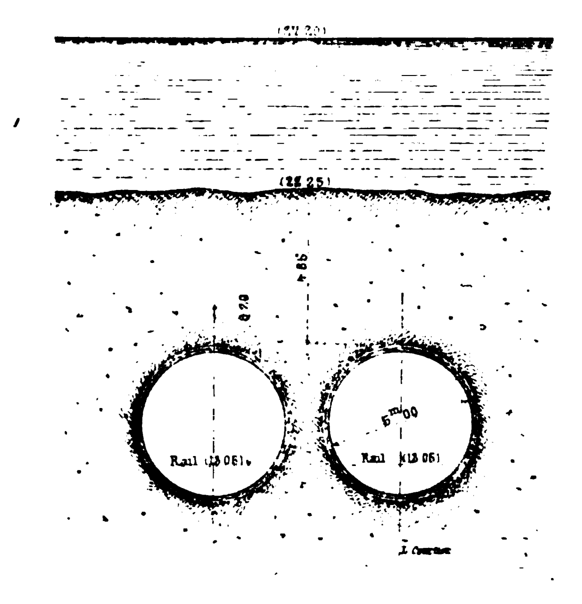
Les dispositions générales du bouclier projeté sont indiquées (*Pl. 108, fig. 7 et 8*).

L'enveloppe en tôle d'acier doux sera double, afin de permettre le croisement des joints. Elle sera renforcée par une armature intérieure, composée de deux anneaux en fonte formés de douze segments boulonnés, et d'une trousse coupante robuste, en quatre segments boulonnés à l'anneau adjacent. Des plaques de renfort en acier sont intercalées dans ce joint boulonné.

Le bouclier est divisé en quatre compartiments par deux poutres, l'une horizontale et l'autre verticale.

La poutre horizontale, convenablement raidie, forme plancher.

**Fig. 12 - Coupe transversale**



A l'arrière elle supporte l'appareil hydraulique de manœuvre et mise en place des segments.

Vers l'avant, le plancher forme trousse coupante, et il permettra au besoin, par un jeu convenable des portes du bouclier, de travailler à des pressions différentes aux deux étages.

Les presses hydrauliques, plus nombreuses à la partie inférieure du bouclier que vers le haut, sont encastrées dans le second anneau de renfort.

On en a prévu vingt, calculées pour une pression maximum de 210 kg par centimètre carré, correspondant à un effort total

de 1 050 t sur l'ensemble du bouclier, soit 18,5 t par mètre carré de surface frottante, chiffre supérieur aux efforts de frottement constatés au souterrain de Blakwall.

Un diaphragme sera boulonné derrière le dernier anneau formant contrefort. Cette disposition permet d'avoir une grande chambre de travail.

On a prévu d'ailleurs la possibilité d'installer une seconde cloison immédiatement derrière la trousse coupante, et s'appuyant sur l'armature de renforcement qui sépare la trousse du premier segment en fonte. On pourrait ainsi, comme à Blakwall, constituer un sas à air dans le bouclier même, pour travailler à des pressions différentes au front d'attaque et dans le tunnel.

On accède à chaque compartiment du bouclier par une porte: des goulottes permettent l'évacuation des déblais. Toutes ces ouvertures seraient fermées d'une façon hermétique en cas d'envahissement des eaux.

Ces renseignements généraux résument l'état actuel des prévisions, pour la traversée sous la Seine de la ligne Montmartre-Montparnasse, et nous tenons à remercier notre collègue M. Berlier de sa grande obligeance à nous documenter sur les dispositions projetées, pour l'exécution des grands travaux dont il a assumé l'entreprise.

## Ligne n° 4, du Métropolitain municipal, de la Porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans.

La ligne n° 4 part de la Porte de Clignancourt et suit le boulevard Ornano, puis le boulevard Barbès, le boulevard Magenta, et la rue de Dunkerque. Elle passe ainsi devant la gare du Nord, longe la gare de l'Est, arrive au boulevard de Strasbourg, puis elle suit le boulevard de Sébastopol jusqu'à la rue Turbigo, où elle se dirige vers les Halles par la rue Baltard et la rue des Halles.

Elle arrive ensuite par la rue Saint-Denis à la place du Châtelet, traverse le grand bras de la Seine en amont du Pont-au-Change, passe dans l'Ile de la Cité sous le marché aux fleurs et la caserne de la Cité, traverse le petit bras de la Seine pour atteindre la place Saint-Michel, d'où elle se dirige par la rue Danton, vers le boulevard Saint-Germain.

La ligne suit alors le boulevard Saint-Germain, puis la rue de Rennes, jusqu'au boulevard Raspail, elle passe d'abord sous la partie encore non percée de ce boulevard, qu'elle suit jusqu'à

la place Denfert-Rochereau, et elle arrive par l'avenue d'Orléans à la porte d'Orléans.

Cette ligne est souterraine sur tout son parcours.

Elle traverse les autres lignes concédées du Métropolitain aux points suivants :

Sur la rive droite :

1° Boulevards Rochechouart et de la Chapelle, à hauteur du boulevard Barbès, la ligne n° 2 circulaire nord, en exploitation, qui est aérienne dans cette partie;

2° A la gare du Nord, la ligne n° 4 passe par-dessus l'extrémité de la boucle terminale de la ligne n° 5, en construction, ligne du boulevard de Strasbourg au pont d'Austerlitz;

3° A la gare de l'Est, la ligne n° 4 passe par-dessus la ligne n° 5 et par-dessus la ligne n° 7 projetée, ligne du Palais-Royal à la place du Danube;

4° Boulevard de Sébastopol, à la hauteur de la rue Saint-Denis, la ligne passe par-dessus la ligne n° 3 en exploitation, ligne de Courcelles-Ménilmontant;

Sur la rive gauche;

5° Rue de Rennes, à hauteur de la rue de Vaugirard, la ligne passe à côté de la ligne Montmartre-Montparnasse projetée;

6° Place Denfert-Rochereau, la ligne n° 4 passe par-dessus la ligne n° 2 circulaire sud, actuellement en construction.

Le rayon minimum des courbes est de 75 m, et le maximum des pentes et rampes 0,04 par mètre.

Les travaux de la ligne n° 4 ont été divisés en douze lots.

Le septième lot comprend les ouvrages de la traversée sous la Seine, qui seront commencés prochainement, et dont le délai d'exécution prévu est de douze mois.

Les travaux ont été commencés le 9 décembre dernier, sur les 2e, 3e, 4e et 5e lots, depuis la station de la Porte de Clignancourt jusqu'à la rue Turbigo, et sur le 11e lot, sous le boulevard Raspail (depuis le boulevard Montparnasse), et l'avenue d'Orléans jusque vers la rue d'Alésia. Les délais d'exécution prévus, pour ces derniers lots, varient de seize à vingt-six mois.

Les travaux du 9e lot, sous la rue de Rennes, commencés le 12 mars dernier, et dont les délais prévus étaient de douze mois, sont terminés. En dehors des ouvrages de la traversée sous la Seine, il n'y a rien de bien particulier à noter sur les travaux de cette ligne, au point de vue spécial où nous nous sommes placés dans cette communication.

Le niveau probable des eaux souterraines est à la cote (35,50) vers la gare du Nord. Mais il semble que ce ne soit là qu'une nappe supérieure de peu d'importance, et qui ne donnera pas de difficultés sérieuses d'épuisement.

A proximité de la Seine, le niveau des eaux est sensiblement celui du fleuve, soit (27,20) et sur la rive gauche on trouve la cote (27,00) vers Saint-Germain-des-Près.

Les sections prévues pour les souterrains, en partie courante et en station, sont donc celles qui ont été adoptées pour les autres lignes du Métropolitain municipal.

Dans les parages de la gare du Nord et de l'Est, l'enchevêtrement du tracé des lignes n[os] 4, 5 et 7 a conduit à exécuter simultanément tous ces ouvrages, qui ont été compris dans le quatrième lot de la ligne n° 4, car il y a là des voûtes superposées et des intersections de souterrains qu'il aurait été plus difficiles d'exécuter ultérieurement.

### Traversée sous la Seine.

Les ouvrages spéciaux nécessités par la traversée sous la Seine, les souterrains d'accès et les stations dans cette partie de la ligne constituent le septième lot, qui s'étend sur une longueur de 1 100 m environ, entre les stations du Châtelet et du carrefour de l'Odéon.

Ces travaux ont été mis en adjudication sur concours, le 17 décembre dernier. Treize concurrents se sont présentés avec trente-trois projets.

C'est le projet de notre Collègue M. Chagnaud qui a été adopté. La Commission d'examen a en outre décerné les primes suivantes, à la suite de ce concours qui a donné lieu, comme on le voit, à un effort considérable :

MM. Daydé et Pillé, et Allard (3 000 f);
Perchot, Fougerolles (2 000 f);
Berlier, Brissot (1 000 f).

Dans le projet de M. Chagnaud, le souterrain unique à deux voies a été conservé sur toute la longueur de l'ouvrage, en partie courante et en station, avec un gabarit voisin de celui des autres lignes métropolitaines.

Les deux stations de la Cité et de la place Saint-Michel sont desservies à chacune de leurs extrémités par des puits verti-

caux dans lesquels sont installés des ascenseurs. La longueur des quais est de 75 m, et leur largeur 3,50 m.

Les procédés d'exécution des souterrains varient, dans les diverses régions de la ligne :

C'est la méthode par *fonçage vertical*, par caissons, qui sera employée pour la traversée même du fleuve, tandis que la méthode par *cheminement horizontal*, au moyen du bouclier, sera utilisée pour les tunnels d'accès sur la rive droite, depuis l'origine du lot jusqu'au grand bras de la Seine, et sur la rive gauche depuis la station de la place Saint-Michel jusqu'à la fin du lot.

Le bouclier sera également employé pour l'exécution du souterrain, sous la caserne de la Cité, depuis la station de la Cité jusqu'au petit bras de la Seine.

Les stations seront exécutées par fonçage vertical par caisson, ainsi que les puits.

Enfin, à la traversée sous la ligne d'Orléans, au quai Saint-Michel, on emploiera le procédé *par congélation*, afin d'éviter le plus possible des tassements sous la ligne du chemin de fer. pendant l'exécution des travaux.

Il serait évidemment prématuré d'entrer dans le détail des dispositions projetées, nous nous bornerons donc à les résumer dans leur ensemble.

Le plan général et le profil en long de cette partie de la ligne sont représentés (*Pl. 109, fig. 1 et 2*).

On voit que le tracé est presque constamment en courbe et que la traversée des deux bras du fleuve s'effectue très obliquement.

Les plus fortes pentes et rampes sont de 0,04 par mètre. La voie est en palier sous le grand bras de la Seine et l'île de la Cité, le rail étant à la cote (16,05) soit à 11,15 m au-dessous de la cote normale (27,20) des eaux du fleuve.

L'exécution par fonçage vertical des souterrains sous la Seine a permis de relever la cote du rail de 3 m environ par rapport au niveau prévu avec la méthode du bouclier.

La voie est en rampe de 6 mm à la traversée sous le petit bras de la Seine, et l'on arrive en palier à la station de la place Saint-Michel où le rail est à la cote (19,17).

On voit sur le profil en long qu'il y a une hauteur de terre minimum de 1,50 m à 2 m au-dessus de la voûte, à la traversée sous le fleuve.

SOUTERRAIN COURANT.

Le revêtement métallique du souterrain courant est en fonte. Il est formé de panneaux nervurés boulonnés entre eux *(Pl. 109, fig. 3)*. En coupe transversale, les panneaux courants ont 1,820 m de longueur, et une courbure variable suivant leur position dans la section du souterrain. Les panneaux de clé ont 50 cm de longueur. L'épaisseur des panneaux est de 40 mm, la hauteur totale des nervures de boulonnage 160 mm, l'étanchéité sera assurée par l'interposition de plaques de bois créosoté ou de feuilles de plomb dans les joints boulonnés.

La largeur commune des panneaux est de 600 mm environ, et ils forment ainsi des anneaux ayant cette longueur, dans le sens longitudinal du souterrain.

Des injections de mortier de ciment seront pratiquées au travers des panneaux du revêtement.

Le souterrain courant, dans la partie exécutée par fonçage vertical, est représenté *(Pl. 109, fig. 4)*.

Le revêtement repose à sa partie inférieure sur le plancher bétonné de la chambre de travail des caissons continus, de 9,70 m environ de largeur. Il est renforcé extérieurement par des armatures en tôles et cornières, faisant corps avec le caisson, et enveloppant toute la voûte.

Ces armatures transversales, espacées de 1,10 m environ, sont en outre reliées entre elles par des entretoises longitudinales disposées contre le revêtement, espacées tous les 50 cm, ce qui forme un quadrillage extérieur contre lequel le revêtement vient prendre appui. Toutes ces armatures sont noyées dans une maçonnerie de béton qui en complète la résistance.

La traversée du grand bras se fera au moyen de trois caissons qui seront amenés en place par flottage, puis immergés et foncés successivement, de manière à laisser toujours libre la majeure partie du lit du fleuve, pour les besoins de la navigation.

Pour la traversée du petit bras, il n'y aura que deux caissons, qui seront également foncés successivement.

La partie du souterrain, exécutée par congélation, à la traversée sous le chemin de fer d'Orléans, au quai Saint-Michel, mériterait à elle seule une étude particulière, mais cela sortirait du cadre que nous nous sommes tracé dans cette communication.

## Stations.

La coupe transversale des souterrains en station est représentée *(Pl. 109, fig. 5)*.

Le gabarit intérieur est analogue à celui des stations courantes du Métropolitain, mais avec une voûte moins surbaissée.

La voûte est en plein cintre, avec un rayon intérieur de 6,25 m, le plan des naissances étant à environ 0,40 m au-dessus des quais, soit à 2,25 du plan de roulement des rails.

Les stations sont foncées sur caissons, à la manière des souterrains courants sous le fleuve. Nous retrouvons donc des dispositions générales analogues :

Les caissons ont 66 m environ de longueur, leur largeur est de 16,50 m. La chambre de travail est partagée en deux parties dans le sens longitudinal par un sommier intermédiaire disposé suivant l'axe de l'ouvrage. Des sommiers transversaux disposés tous les 16,50 m partagent en outre la chambre de travail en quatre parties dans le sens de la longueur, soit en tout huit compartiments desservis chacun par un sas, à la manière ordinaire.

On voit sur la coupe transversale que le revêtement métallique du souterrain en station est constitué par une simple tôle d'acier de 8 mm d'épaisseur, rivée aux armatures transversales espacées de 1,10 m environ et raidies, en outre, par des entretoises longitudinales, distantes de 0,70 m disposées suivant les génératrices du souterrain.

Tous les fers des armatures sont noyés dans un massif extérieur de béton qui vient concourir à la résistance de l'ensemble.

La tôle du revêtement métallique sera recouverte intérieurement d'un enduit de mortier de ciment dont l'adhérence est assurée par de petites cornières noyées dans la masse et rivées aux tôles. Cet enduit sera garni d'un revêtement en carreaux émaillés.

Les *puits de service* des stations, disposés à chaque extrémité, ont un vide intérieur elliptique ayant 26 m sur 18,50 m.

Ils sont également foncés sur caissons, le plancher bétonné de la chambre de travail formant le fond des puits.

Ils sont fermés à leur partie supérieure par un tablier métallique avec voûtes en briques sur lequel est établie la chaussée.

Les parois sont constituées par un double système d'armatures

verticales et horizontales, sur lesquelles sont rivées les tôles extérieures et intérieures qui les limitent.

Toute l'épaisseur des parois, entre ces tôles, est remplie de béton, de sorte que les fers des armatures sont complètement noyés dans la maçonnerie, et que l'ensemble travaille à la manière du béton armé.

Les tôles intérieures des parois sont recouvertes d'un enduit en ciment, de 0,03 d'épaisseur.

Par suite des évidements dans les parois, à la partie inférieure des puits, pour les têtes des souterrains courants et en station, on a renforcé cette zone en reportant sur une ceinture métallique résistante continue, disposée immédiatement au-dessus des vides, dans l'épaisseur des parois, toutes les pressions s'exerçant sur la partie inférieure des puits, et qui sont transmises à la ceinture de renforcement par les armatures verticales.

L'épaisseur des parois varie depuis 1,50 m à la partie supérieure des puits, jusqu'à 2,50 m, pour les puits les plus profonds, à la station de la Cité.

## Ligne n° 8, d'Auteuil à l'Opéra.

Le tracé de cette ligne est indiqué sur le plan général du Métropolitain.

Peut-être subira-t-il quelques changements, du côté d'Auteuil. La ligne traversera la Seine, une première fois, en aval du pont Mirabeau. On se trouvera dans des sables d'alluvions aquifères du côté de Grenelle, jusqu'aux Invalides, et les travaux donneront lieu, à de nombreux remaniements dans le réseau d'égouts, dans le XV$^e$ arrondissement.

La ligne vient traverser une seconde fois la Seine en amont du pont des Invalides, elle aboutit à l'Opéra, où elle passe au-dessous des lignes n$^{os}$ 3 et 7.

La ligne se prolongerait ensuite directement sous les grands boulevards, par la ligne projetée du réseau complémentaire, dite ligne de la ceinture intérieure, et dont les travaux sont mis actuellement à l'enquête. (Ligne suivant les grands boulevards sur la rive droite, et le boulevard Saint-Germain sur la rive gauche.)

Le projet de la ligne 8, tel qu'il est établi actuellement, comporterait la traversée de la Seine par souterrains jumelés à sec-

tion circulaire et revêtement en fontes, exécutés par la méthode du bouclier.

Mais il est possible que les procédés d'exécution soient différents de ces prévisions, ce qui entraînerait des modifications importantes des ouvrages de la traversée sous la Seine. Nous ne citerons donc ces travaux que pour mémoire, sans nous y attarder davantage.

## Ligne n° 5, du boulevard de Strasbourg au pont d'Austerlitz.

Ces travaux sont actuellement en cours d'exécution, et il nous a paru intéressant d'en dire quelques mots, car si la ligne n° 5 ne traverse pas la Seine, on voit, sur le plan général du Métropolitain *(Pl. 108, fig. 9)*, qu'elle en suit quelque temps la berge rive droite, vers le pont d'Austerlitz, qu'elle traverse ensuite le canal Saint-Martin et en longe la rive ouest sur une partie notable de son parcours.

La ligne n° 5 est entièrement souterraine. La boucle terminale est à la gare du Nord, où la ligne passe en dessus de la ligne n° 7, puis elle passe en dessus de la ligne n° 4 à la gare de l'Est. et se dirige par la rue du Faubourg Saint-Martin et le boulevard Magenta vers la place de la République, où elle traverse par en dessus la ligne n° 3. Elle suit alors le boulevard Voltaire, le boulevard Richard-Lenoir, passe par-dessous la ligne n° 1 à la place de la Bastille, et elle arrive par le boulevard Bourdon à la place Mazas, d'où elle se dirige par le quai de la Rapée vers le point terminus de la ligne n° 2 sud dont elle constitue le prolongement direct.

La ligne n° 5 est également raccordée à la ligne n° 1 par un embranchement suivant le boulevard Diderot jusqu'à la station de la gare de Lyon.

Dans toute la région de la ligne qui longe le canal Saint-Martin, et dont le plan est représenté *(Pl. 109, fig. 6)*, pour la partie comprise de la place de la Bastille à la Seine, la cote du rail est en dessous du plan des eaux dans le canal, où le niveau normal est à la cote (30,00).

Bien que l'on se trouve dans des terrains sablonneux, il n'y a pas eu d'infiltrations d'eau.

Ce résultat est assez curieux et il est dû au colmatage du fond du canal par les limons des eaux.

Aussi le souterrain a-t-il pu être exécuté dans des terrains absolument secs, par les procédés ordinaires, et sans précautions particulières. Il n'y a qu'à la traversée sous la ligne n° 1, à la place de la Bastille, que l'on a eu un peu d'eau, mais fort peu, et du côté du souterrain opposé au canal.

La traversée de la place de la Bastille s'effectue dans une zone occupée en partie par l'ancienne forteresse, et les données incertaines sur la position exacte des fondations de cet édifice ne permettaient pas de déterminer le tracé de la ligne avec une précision assez grande pour éviter à coup sûr d'avoir à démolir des maçonneries anciennes. Mais il s'est trouvé, par suite d'un concours de circonstances heureuses, que le tracé adopté était le meilleur que l'on pût choisir, car la station de la Bastille est exactement située dans les fossés de la forteresse, entre le mur d'escarpe et la contrescarpe.

Par contre, du côté du pont d'Austerlitz, si l'état des lieux était bien connu, le tracé de la ligne, en plan et en profil, présentait les difficultés les plus sérieuses.

Le profil en long, est assez tourmenté. En arrivant vers la berge du fleuve, la ligne doit, en effet, franchir l'entrée du canal Saint-Martin. Elle le fait sur un tablier métallique, réservant au-dessus des eaux la hauteur libre nécessaire pour les besoins de la batellerie.

Puis la ligne plonge à nouveau pour passer sous la place Mazas, à l'entrée du pont d'Austerlitz. Elle remonte ensuite pour redevenir aérienne et gagner les viaducs d'accès, rive droite du pont métallique en arc sur lequel la ligne n° 2 franchit la Seine, en amont du pont d'Austerlitz. Les parties aériennes ont été hachurées sur le plan.

Le raccordement de la ligne n° 5 et de la ligne n° 1 commence également place Mazas. Il plonge pour passer sous la ligne n° 2 sud, puis il suit le boulevard Diderot jusqu'à la station Gare de Lyon de la ligne n° 1. A l'origine de cette voie de raccordement, vers la berge du fleuve, et à un niveau bien supérieur au niveau des eaux de la Seine, on a eu des suintements. On a trouvé là de mauvais terrains, et il a été nécessaire de consolider les piédroits de la voûte par des puits bétonnés, allant jusqu'au terrain solide, à un niveau assez profond. Il semble que l'on traverse d'anciens marécages, car ces puits à parois blindées ont rencontré des vases et de la tourbe.

En terminant cette étude des diverses lignes du Métropolitain municipal qui passent sous la Seine ou longent le fleuve, nous exprimons tous nos remerciements à MM. Bienvenüe, Ingénieur en chef, chef du Service technique du Métropolitain, et Biette, Ingénieur en chef adjoint, qui ont bien voulu nous documenter sur ces intéressants travaux.

La description sommaire que nous venons de faire des ouvrages projetés, pour la traversée sous la Seine des nouvelles lignes du métropolitain, nous a montré la diversité des procédés d'exécution qui vont être mis en œuvre.

Nul doute que l'expérience ne nous fournisse dans ces conditions les renseignements les plus utiles et les plus complets, qui contribueront au progrès général, dans cette branche des travaux publics, et que ces grands travaux ne fassent honneur, une fois de plus, au Génie civil français.

---

# ACIERS A OUTILS A COUPE RAPIDE

PAR

L. GUILLET

## Avant-propos. — Définition.

Lorsque j'ai eu l'honneur de vous présenter l'an dernier une communication sur la cémentation des aciers ordinaires et des aciers spéciaux, je pensais vous apporter ensuite les résultats des recherches sur la trempe et le recuit de ces produits.

J'étais inscrit pour cette communication, lorsque votre Comité a bien voulu, par l'intermédiaire de notre savant collègue, M. Baclé, me prier de vous parler ce soir des aciers à coupe rapide.

Je m'efforcerai de vous montrer d'une façon aussi claire que possible comment l'on doit envisager la théorie de ces aciers qui n'est, en somme, qu'un cas particulier de la théorie générale des alliages fer-carbone établie par M. Osmond.

On appelle *aciers à outils à coupe rapide* des alliages à base de fer qui ont la propriété de pouvoir travailler les produits métallurgiques à une vitesse telle que les copeaux sortent à une température élevée (souvent au rouge sombre) et cela sans que l'outil perde la trempe qu'il possède.

## Historique.

La découverte des aciers à outils à coupe rapide, est due à deux Ingénieurs des usines de Bethléem, MM. White et Taylor. C'est à l'Exposition de 1900, à l'annexe de Vincennes, que l'on vit pour la première fois ces aciers. On se souvient assurément de la stupéfaction que l'on éprouvât en voyant travailler un tour sur acier demi-dur avec une vitesse de 45 m par minute avec une coupe de 4,7 mm et une avance de 1,5 mm.

Pendant longtemps, on crut que cette découverte était le fait du hasard, mais des documents récemment publiés en Amérique (1) prouvent qu'au contraire elle résulte de recherches d'un

(1) *Iron and Steel Magazine*, VIII, 465-467, 1904.

ordre scientifique très élevé, qu'elle a nécessité deux années de travail et que les essais ont porté sur 200 t d'acier d'un prix de revient très élevé.

Pour expliquer la théorie des aciers à coupe rapide, je dois rappeler brièvement la théorie de la trempe des aciers au carbone.

## Points de transformation dans les aciers au carbone.

Considérons un corps que nous avons chauffé à une certaine température et laissons-le refroidir. Supposons que pendant le refroidissement ce corps n'offre aucune transformation et portons sur l'axe des $x$ la vitesse de refroidissement, sur l'axe des $y$ la température. On obtiendra une courbe semblable à celle du diagramme 1 : le refroidissement s'opère d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement au fur et à mesure que la température s'abaisse.

Supposons maintenant que le corps considéré pendant le re-

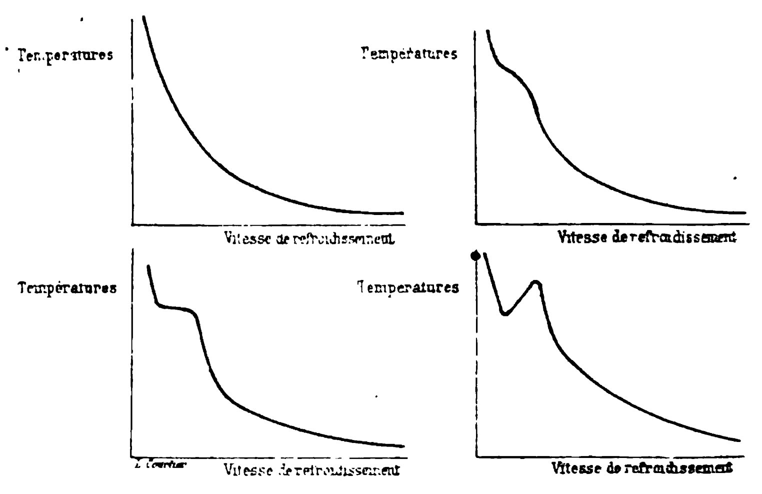



Diagramme 1 à 4.

froidissement subisse une transformation, modification physique ou chimique qui dégage de la chaleur, on aura une courbe irrégulière ; on pourra trouver ou un arrêt *(diagramme 2)* ou un palier comme celui de la courbe 3, ou enfin une irrégularité plus nette encore *(diagramme 4)*. Ces différentes formes de la courbe dépendent de l'acuité du phénomène.

Supposons maintenant que nous prenions un morceau de fer pur et que nous étudions sa courbe de refroidissement au moyen d'un couple Le Chatelier et d'un galvanomètre, on notera des dégagements de chaleur, c'est-à-dire un ralentissement dans le refroidissement, aux environs de 750 à 850 degrés.

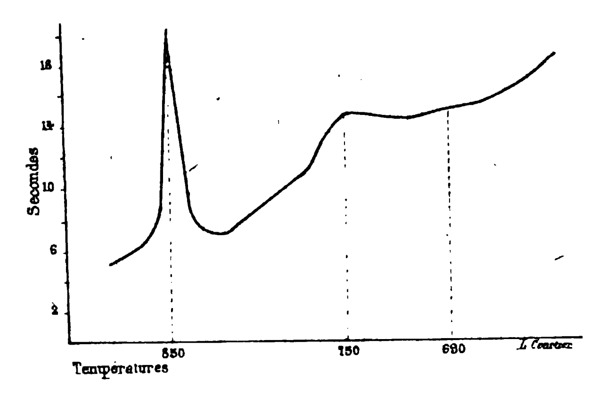



Diagramme 5.

Si, comme l'a fait M. Osmond, on prend pour tracer la courbe de refroidissement comme abcisses les températures et comme ordonnées le nombre de secondes que met l'indice du galvanomètre pour baisser de une division de la règle graduée on obtient la courbe suivante, qui prouve que pour baisser de 1 degré dans les environs de 850 degrés, il a fallu un temps très long; il y a eu un ralentissement au refroidissement *(diagramme 5)*.

Il en est de même à 750 degrés, bien que le ralentissement soit beaucoup moins accentué.

Avec M. Osmond, nous dirons que le fer est à l'état $\alpha$ au-dessous de 750 degrés (point $A_2$), à l'état $\beta$ entre 750 et 850 degrés (point $A_3$), à l'état $\gamma$ au-dessus de 850 degrés.

Si, maintenant, au lieu de considérer le fer pur, nous prenons des alliages de fer et de carbone, c'est-à-dire des aciers, nous allons pouvoir examiner l'influence du carbone sur les points de transformation *(diagramme 6)*.

Pour un acier doux, on notera que les deux points du fer ont baissé, ils sont vers 820 et 720 degrés. Mais on note, de plus, un point plus bas que le précédent qui n'existe pas dans le fer pur. Enfin le point à 820 degrés est marqué ici par un palier.

Si le carbone atteint 0,450 0/0, on n'obtient plus que deux ralentissements, l'un vers 695 degrés, l'autre vers 650 degrés.

Pour un acier dur (C = 1,24) on n'observe qu'une station vers 680 degrés.

En résumé, quand on ajoute du carbone au fer, on commence par abaisser le point de transformation le plus élevé $A_3$ ; pour C = 0,350, le point $A_3$ vient se confondre avec le point $A_2$ et enfin au delà de 0,850 0/0 de carbone, les trois points $A_3$ $A_2$ et $A_1$ se confondent.

Il nous reste à dire maintenant ce qu'est le point $A_1$, lequel a la plus grande importance au point de vue de la trempe des aciers à outils.

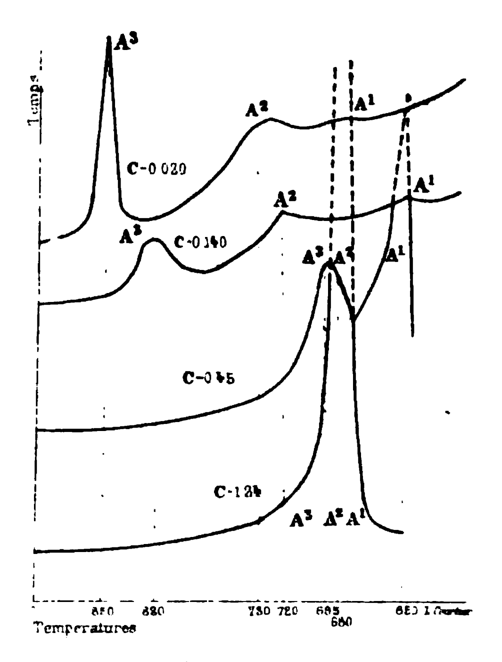



Diagramme 6.

On sait que le fer est susceptible de se combiner au carbone pour donner une carbure, que l'on a pu isoler par des réactifs chimiques appropriés et dont l'existence ne saurait être mise en doute. Ce carbure de fer, qui a pour formule $Fe^3C$, a reçu le nom de cémentite. Je vous en ai montré de très nombreuses micrographies dans mes précédentes communications.

Or, si nous considérons un acier dans lequel existe ce composé et si nous le chauffons, lorsque nous arriverons au point $A_1$, il subira une transformation : le carbone entrera en solution dans le fer, de telle sorte que, au-dessous du point $A_1$ nous aurons

ducarbure de fer, au-dessus de ce même point nous aurons une solution solide fer-carbone (ou fer-carbure de fer).

Rappelons que la cémentite peut exister dans les aciers au carbone, soit à l'état de perlite (eutectique ferrite-cémentite), soit à l'état de cémentite indépendante. Cette dernière n'existe

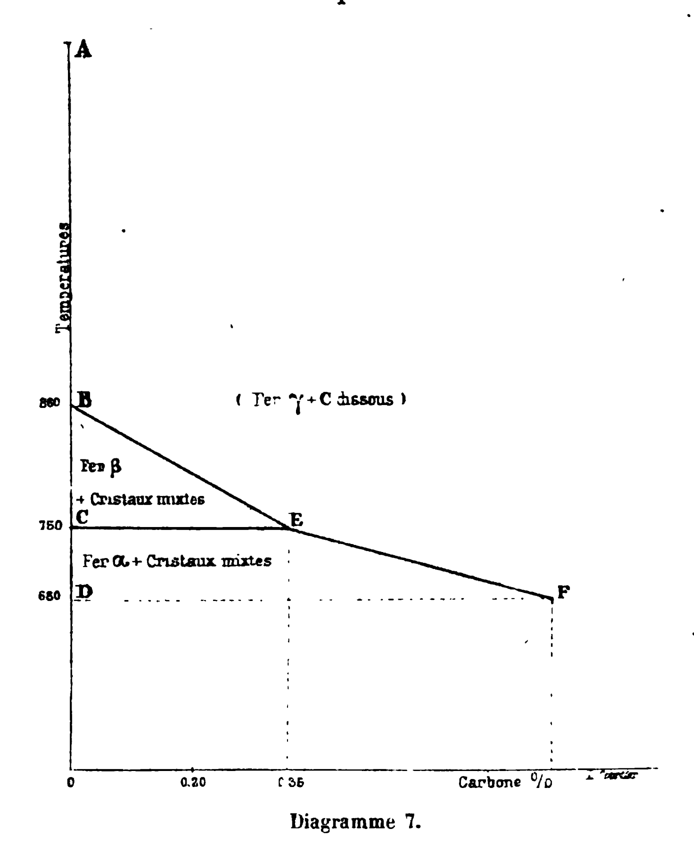



Diagramme 7.

normalement que dans les aciers renfermant plus de 0,850 0/0 de carbone.

Le diagramme 7 donne les transformations subies par les aciers hypoeutectiques.

## Théorie de la trempe pour les aciers au carbone.

*Pour qu'un acier à outil au carbone prenne la trempe, il est nécessaire que la température de trempe soit supérieure au point de transformation* $A_1$.

Le métal garde alors, tout au moins partiellement, l'état

qu'il avait à la température à laquelle il a été trempé. Au point de vue micrographique, il est martensitique.

Cette corrélation entre le point de transformation $A_1$ et la faculté qu'a un acier de prendre la trempe a été démontrée par des expériences de M. Osmond d'une part, de M. Charpy d'autre part.

M. Osmond a montré que le revenu — opération qui consiste à chauffer un acier trempé à des températures inférieures au point de transformation $A_1$, et qui a pour effet de détruire la trempe — est accompagné d'un dégagement de chaleur remplaçant celui qui n'a pas eu lieu pendant la trempe et qui aurait existé si, au refroidissement brusque, on avait substitué un refroidissement lent.

M. Charpy a prouvé que la trempe n'apporte de modifications dans les propriétés mécaniques des aciers (augmentation de la charge de rupture, de la limite élastique et de la dureté, diminution des allongements, de la striction et de la résistance au choc (1) que si l'on est passé par le point $A_1$.

Enfin, il a été démontré par voie chimique que l'état du carbone est différent, suivant que l'acier a été trempé au-dessous ou au-dessus du point $A_1$. MM. Osmond, Werth et Carnot ont montré qu'un acier trempé au-dessus du point $A_1$ donne par la méthode Eggertz (acide azotique concentré) une coloration beaucoup moins intense que l'acier recuit.

Il y a donc une corrélation absolue entre le point de transformation $A_1$ et le phénomène de la trempe.

Il nous parait donc nécessaire d'étudier plus en détail le phénomène caractérisé par le point de transformation $A_1$ et que l'on a pendant longtemps désigné sous le nom de recalescence, parce que une barre passant, au refroidissement, par ce point de transformation peut augmenter d'éclat. (Gore et Barett).

Ce phénomène, avons-nous dit, consiste dans la dissolution du carbure de fer dans le fer. Il est juste d'ajouter que les méthodes scientifiques actuelles ne permettent pas de savoir s'il y a bien dissolution du carbure de fer ou bien dissocation du carbure de fer en carbone et fer et solution du carbone dans le fer.

Au point de vue industriel, ceci ne présente d'ailleurs aucun intérêt.

(1) Il s'agit, bien entendu, d'acier suffisamment carburé, par exemple, un acier à outil.

Remarquons de suite que le phénomène ne se passe pas à la même température à l'échauffement et au refroidissement. Il y a un certain retard.

Prenons un acier à outil au carbone, chauffons-le; la position du point $A_1$ dépend essentiellement de la vitesse d'échauffement. Ceci découle d'importantes recherches de M. Osmond; plus la vitesse d'échauffement est faible, plus bas se trouve le point de transformation à l'échauffement et plus haut se trouve le point de transformation au refroidissement.

Avec une vitesse infiniment lente, les deux points de transformation (échauffement, refroidissement) viendraient donc à se confondre.

D'ailleurs, comme l'a fait remarquer M. Henry Le Chatelier dans un article d'une clarté et d'une précision remarquables, surtout pour l'époque (*Revue Générale des Sciences pures et appliquées*, 15 janvier 1897) et comme il l'a rappelé dernièrement dans la *Revue de Métallurgie* (1904, p. 335), la transformation, qui se passe dans les aciers au point $A_1$, suit la loi générale qui régit la vitesse dans les phénomènes chimiques.

La vitesse, avec laquelle se produit une transformation à une température déterminée, est d'autant plus grande que :

1° La température absolue considérée est plus élevée ;

2° Cette température est plus écartée du point de tranformation.

Observons ce qui se passe d'une part pour une température supérieure au point de transformation ; d'autre part, pour une température inférieure au point de transformation.

Pour une température supérieure au point de transformation, les deux facteurs (température absolue, écart entre la température considérée et la température de transformation) agissent dans le même sens. La vitesse de transformation augmente donc très rapidement.

Au contraire, pour une température inférieure au point de transformation, ces deux facteurs agissent en sens inverse ; en effet, lorsque la température à laquelle on se place augmente, la différence qui existe entre cette température et celle de transformation diminue.

Il arrive alors que la vitesse de transformation passe par un maximum.

Pour mieux faire comprendre ces phénomènes qui, je le répète, sont d'ordre général et se rapportent à tous les phénomènes

qu'il avait à la t
de vue microgra
Cette corrélat
faculté qu'a un
des expériences
part.
M. Osmond a
à chauffer un
point de trans
trempe — est a
çant celui qui
existé si, au r
froidissement
M. Charpy
tions dans le
de la charge
diminution d
au choc (1)
Enfin, il a
bone est dif
ou au-dess
montré qu'
méthode E
coup moin
Il y a d
mation $A_1$
Il nous
nomène
l'on a p
parce qu
transfor
Ce pl
carbur
des se
bien
bure
Au
intér

... on. La vitesse de ...

... au acier chauffé a...

(1) I
outil.

point de transformation, si on le refroidit lentement la ile transformation nulle d'abord, augmente, passe par imum et tend vers 0.

i l'on vient par un refroidissement brusque à faire pas- er d'une température supérieure à son point de trans- n à une température pour laquelle la vitesse de trans- n est devenue nulle, il n'y a plus de transformation : l'acier est trempé.

nt le bain de trempe utilisé, eau, huile, eau bouillante, étalliques, on peut passer plus ou moins rapidement cet critique et toutes les recettes parfois si bizarres de la n'ont pas d'autres motifs.

idérons, enfin, un acier que nous avons trempé, nous s donc en ce moment en martensite. Réchauffons peu à t acier, nous allons lui faire subir un revenu pendant le- etit à petit se reformera la perlite et la transformation avec une vitesse indiquée dans le diagramme 10, en sui- ne courbe analogue à celle du diagramme 9.

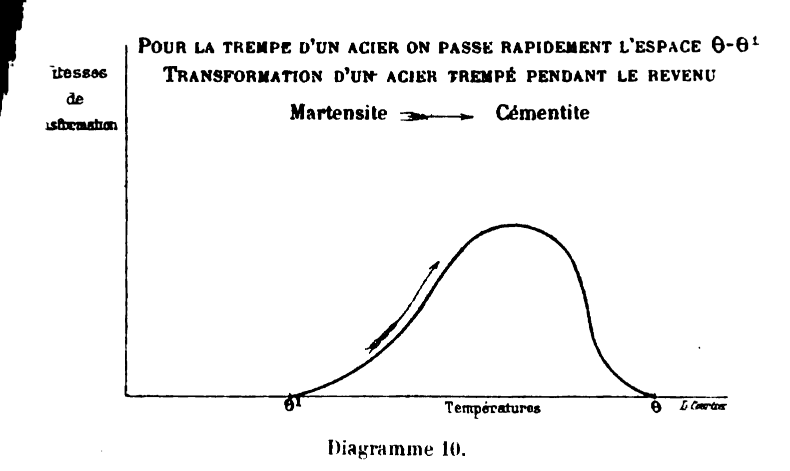



Diagramme 10.

Si maintenant nous considérons, au lieu de la vitesse de trans- rmation, le rapport du carbone combiné ou dissous au carbone otal, nous aurons des courbes qui ont leur intérêt. La vitesse e transformation à l'échauffement peut être définie de la façon uivante (comme il a été indiqué au-dessus des diagrammes).

Soit $c$ quantité de carbone dissous — C quantité de carbone total et $q = \frac{c}{C}$.

chimiques, je rappellerai, en les scindant les diagrammes shématiques, donnés par M. H. Le Chatelier (*Revue de Métallurgie*. 1904).

Sur l'axe des $x$ on porte les températures, sur l'axe des $y$ les vitesses de transformation. Le diagramme 8 représente un acier

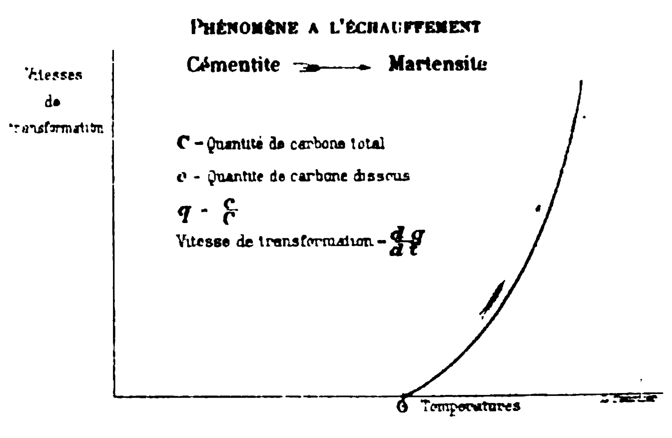



Diagramme 8.

porté au-dessus de son point de transformation ; la vitesse de transformation croît très rapidement.

Le diagramme 9 représente la variation du phénomène au-

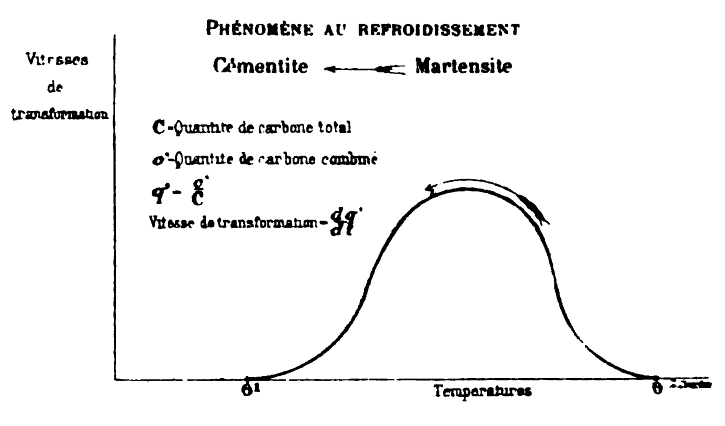



Diagramme 9.

dessous de son point de transformation. La vitesse de transformation passe par un maximum.

On voit donc que si l'on considère un acier chauffé au-dessus

de son point de transformation, si on le refroidit lentement la vitesse de transformation nulle d'abord, augmente, passe par un maximum et tend vers 0.

Mais si l'on vient par un refroidissement brusque à faire passer l'acier d'une température supérieure à son point de transformation à une température pour laquelle la vitesse de transformation est devenue nulle, il n'y a plus de transformation possible : l'acier est trempé.

Suivant le bain de trempe utilisé, eau, huile, eau bouillante, bains métalliques, on peut passer plus ou moins rapidement cet espace critique et toutes les recettes parfois si bizarres de la trempe n'ont pas d'autres motifs.

Considérons, enfin, un acier que nous avons trempé, nous sommes donc en ce moment en martensite. Réchauffons peu à peu cet acier, nous allons lui faire subir un revenu pendant lequel petit à petit se reformera la perlite et la transformation se fera avec une vitesse indiquée dans le diagramme 10, en suivant une courbe analogue à celle du diagramme 9.

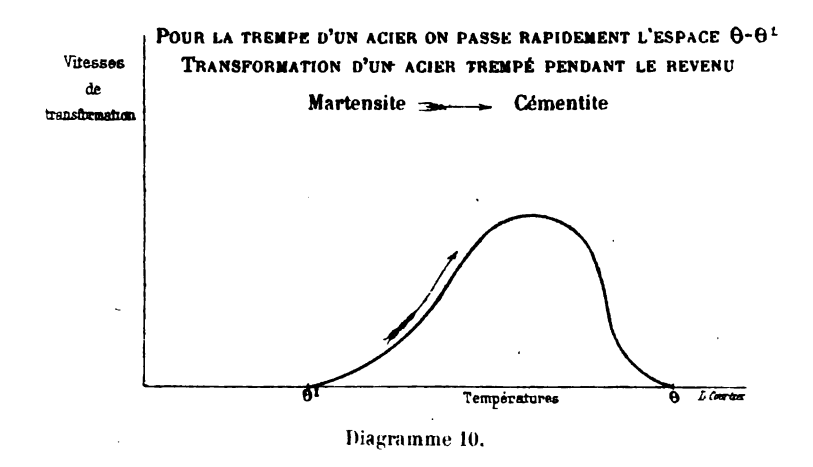



Diagramme 10.

Si maintenant nous considérons, au lieu de la vitesse de transformation, le rapport du carbone combiné ou dissous au carbone total, nous aurons des courbes qui ont leur intérêt. La vitesse de transformation à l'échauffement peut être définie de la façon suivante (comme il a été indiqué au-dessus des diagrammes).

Soit $c$ quantité de carbone dissous — C quantité de carbone total et $q = \frac{c}{C}$.

chimiques, je rappellerai, en les scindant les diagrammes shématiques, donnés par M. H. Le Chatelier (*Revue de Métallurgie*, 1904).

Sur l'axe des $x$ on porte les températures, sur l'axe des $y$ les vitesses de transformation. Le diagramme 8 représente un acier

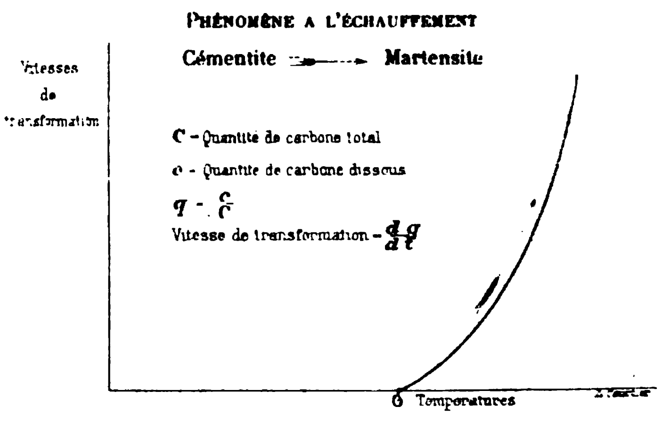



Diagramme 8.

porté au-dessus de son point de transformation ; la vitesse de transformation croît très rapidement.

Le diagramme 9 représente la variation du phénomène au-

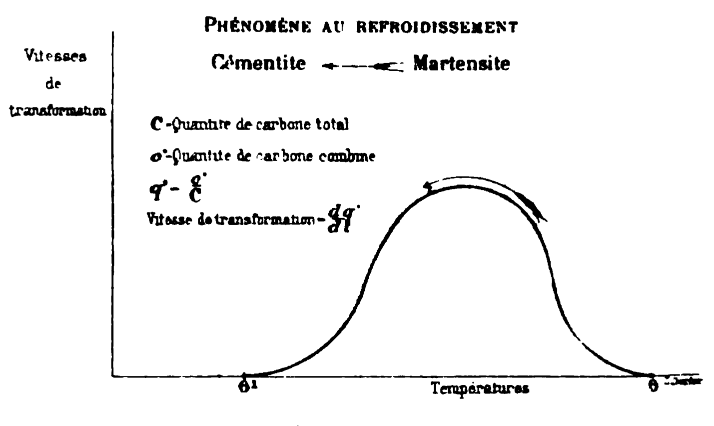



Diagramme 9.

dessous de son point de transformation. La vitesse de transformation passe par un maximum.

On voit donc que si l'on considère un acier chauffé au-dessus

de son point de transformation, si on le refroidit lentement la vitesse de transformation nulle d'abord, augmente, passe par un maximum et tend vers 0.

Mais si l'on vient par un refroidissement brusque à faire passer l'acier d'une température supérieure à son point de transformation à une température pour laquelle la vitesse de transformation est devenue nulle, il n'y a plus de transformation possible : l'acier est trempé.

Suivant le bain de trempe utilisé, eau, huile, eau bouillante, bains métalliques, on peut passer plus ou moins rapidement cet espace critique et toutes les recettes parfois si bizarres de la trempe n'ont pas d'autres motifs.

Considérons, enfin, un acier que nous avons trempé, nous sommes donc en ce moment en martensite. Réchauffons peu à peu cet acier, nous allons lui faire subir un revenu pendant lequel petit à petit se reformera la perlite et la transformation se fera avec une vitesse indiquée dans le diagramme 10, en suivant une courbe analogue à celle du diagramme 9.

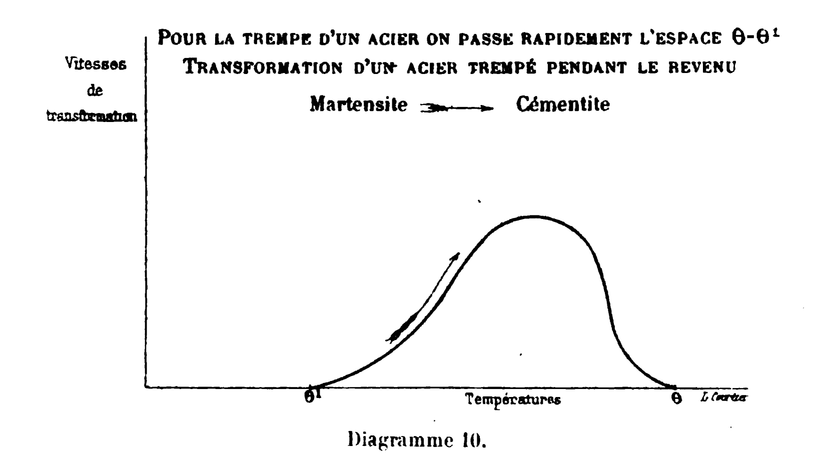



Diagramme 10.

Si maintenant nous considérons, au lieu de la vitesse de transformation, le rapport du carbone combiné ou dissous au carbone total, nous aurons des courbes qui ont leur intérêt. La vitesse de transformation à l'échauffement peut être définie de la façon suivante (comme il a été indiqué au-dessus des diagrammes).

Soit $c$ quantité de carbone dissous — C quantité de carbone total et $q = \frac{c}{C}$.

chimiques, je rappellerai, en les scindant les diagrammes shématiques, donnés par M. H. Le Chatelier (*Revue de Métallurgie*. 1904).

Sur l'axe des $x$ on porte les températures, sur l'axe des $y$ les vitesses de transformation. Le diagramme 8 représente un acier

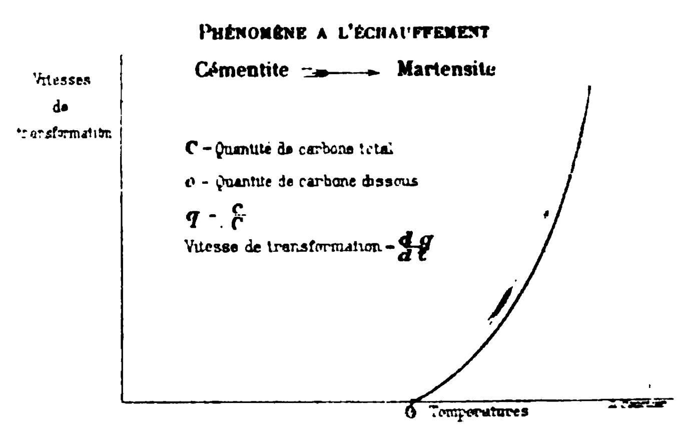



Diagramme 8.

porté au-dessus de son point de transformation ; la vitesse de transformation croît très rapidement.

Le diagramme 9 représente la variation du phénomène au-

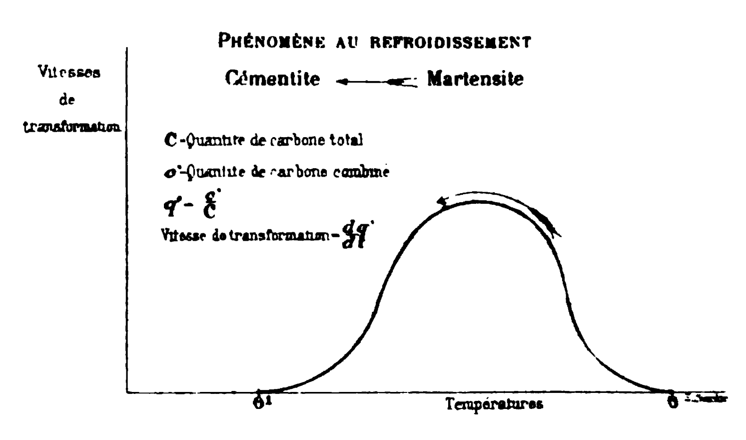



Diagramme 9.

dessous de son point de transformation. La vitesse de transformation passe par un maximum.

On voit donc que si l'on considère un acier chauffé au-dessus

de son point de transformation, si on le refroidit lentement la vitesse de transformation nulle d'abord, augmente, passe par un maximum et tend vers 0.

Mais si l'on vient par un refroidissement brusque à faire passer l'acier d'une température supérieure à son point de transformation à une température pour laquelle la vitesse de transformation est devenue nulle, il n'y a plus de transformation possible : l'acier est trempé.

Suivant le bain de trempe utilisé, eau, huile, eau bouillante, bains métalliques, on peut passer plus ou moins rapidement cet espace critique et toutes les recettes parfois si bizarres de la trempe n'ont pas d'autres motifs.

Considérons, enfin, un acier que nous avons trempé, nous sommes donc en ce moment en martensite. Réchauffons peu à peu cet acier, nous allons lui faire subir un revenu pendant lequel petit à petit se reformera la perlite et la transformation se fera avec une vitesse indiquée dans le diagramme 10, en suivant une courbe analogue à celle du diagramme 9.

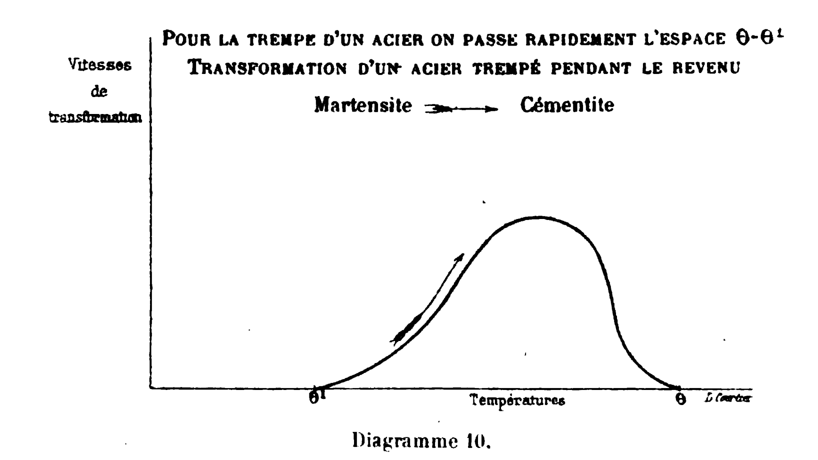



Diagramme 10.

Si **maintenant** nous considérons, au lieu de la vitesse de transformation, le **rapport** du carbone combiné ou dissous au carbone total, nous aurons des courbes qui ont leur intérêt. La vitesse de transformation à l'échauffement peut être définie de la façon suivante (comme il a été indiqué au-dessus des diagrammes).

Soit $c$ quantité de carbone dissous — C quantité de carbone total et $q = \frac{c}{C}$.

chimiques, je rappellerai, en les scindant les diagrammes shématiques, donnés par M. H. Le Chatelier (*Revue de Métallurgie*. 1904).

Sur l'axe des $x$ on porte les températures, sur l'axe des $y$ les vitesses de transformation. Le diagramme 8 représente un acier

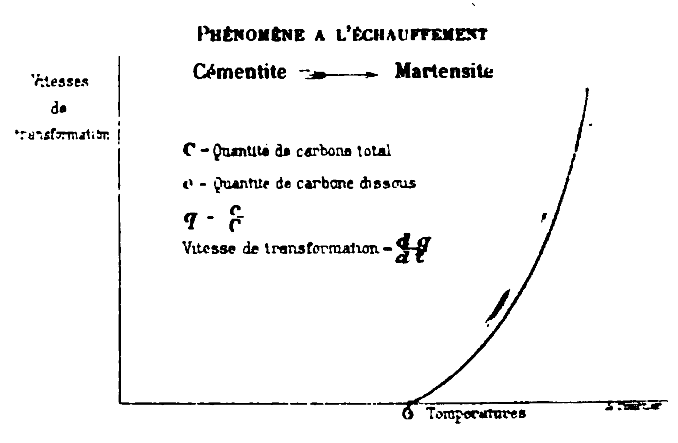



Diagramme 8.

porté au-dessus de son point de transformation ; la vitesse de transformation croît très rapidement.

Le diagramme 9 représente la variation du phénomène au-

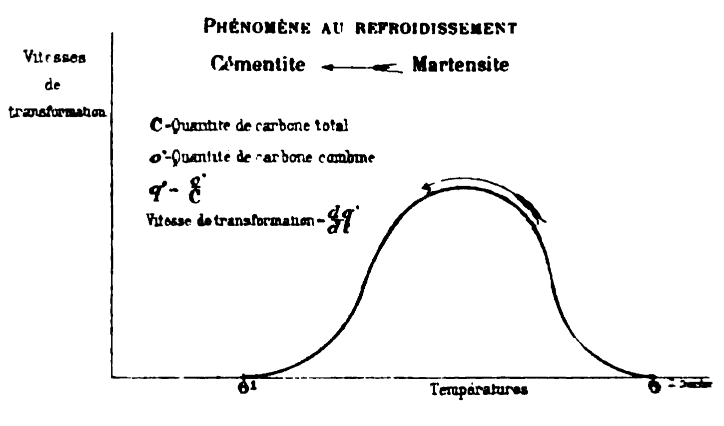



Diagramme 9.

dessous de son point de transformation. La vitesse de transformation passe par un maximum.

On voit donc que si l'on considère un acier chauffé au-dessus

de son point de transformation, si on le refroidit lentement la vitesse de transformation nulle d'abord, augmente, passe par un maximum et tend vers 0.

Mais si l'on vient par un refroidissement brusque à faire passer l'acier d'une température supérieure à son point de transformation à une température pour laquelle la vitesse de transformation est devenue nulle, il n'y a plus de transformation possible : l'acier est trempé.

Suivant le bain de trempe utilisé, eau, huile, eau bouillante, bains métalliques, on peut passer plus ou moins rapidement cet espace critique et toutes les recettes parfois si bizarres de la trempe n'ont pas d'autres motifs.

Considérons, enfin, un acier que nous avons trempé, nous sommes donc en ce moment en martensite. Réchauffons peu à peu cet acier, nous allons lui faire subir un revenu pendant lequel petit à petit se reformera la perlite et la transformation se fera avec une vitesse indiquée dans le diagramme 10, en suivant une courbe analogue à celle du diagramme 9.

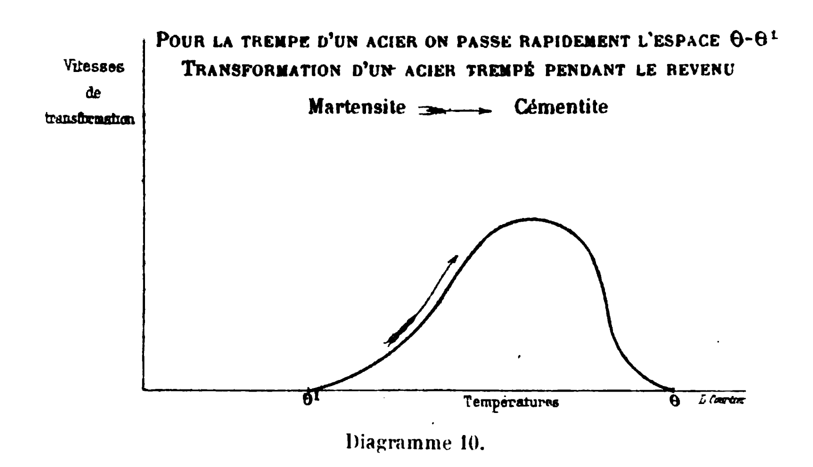



Diagramme 10.

Si maintenant nous considérons, au lieu de la vitesse de transformation, le rapport du carbone combiné ou dissous au carbone total, nous aurons des courbes qui ont leur intérêt. La vitesse de transformation à l'échauffement peut être définie de la façon suivante (comme il a été indiqué au-dessus des diagrammes).

Soit $c$ quantité de carbone dissous — C quantité de carbone total et $q = \frac{c}{C}$.

chimiques, je rappellerai, en les scindant les diagrammes shematiques, donnés par M. H. Le Chatelier (*Revue de Métallurgie*. 1904).

Sur l'axe des $x$ on porte les températures, sur l'axe des $y$ les vitesses de transformation. Le diagramme 8 représente un acier

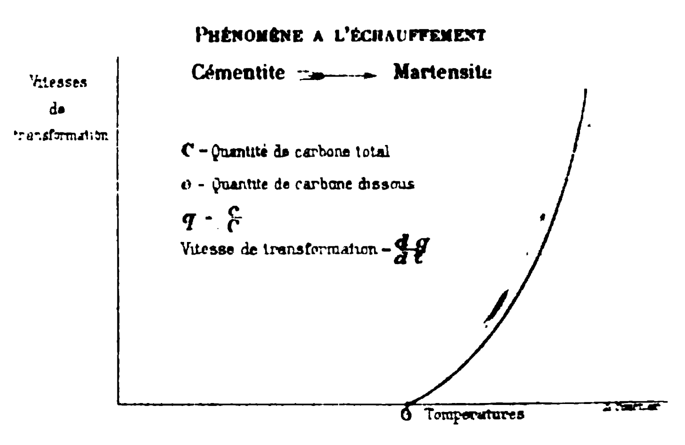



Diagramme 8.

porté au-dessus de son point de transformation ; la vitesse de transformation croit très rapidement.

Le diagramme 9 représente la variation du phénomène au-

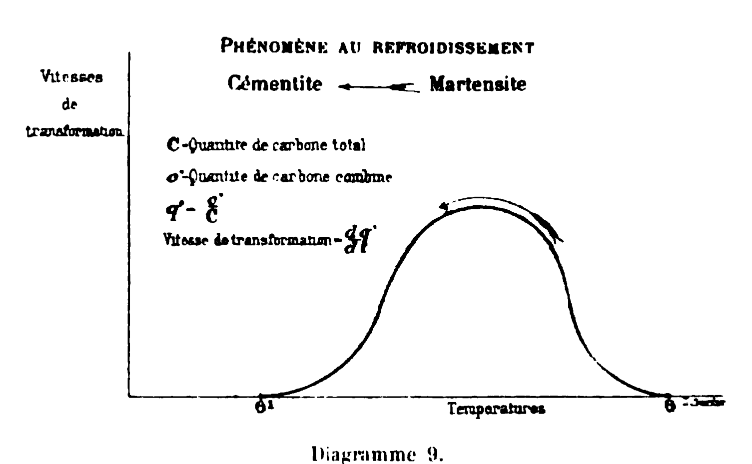



Diagramme 9.

dessous de son point de transformation. La vitesse de transformation passe par un maximum.

On voit donc que si l'on considère un acier chauffé au-dessus

de son point de transformation, si on le refroidit lentement la vitesse de transformation nulle d'abord, augmente, passe par un maximum et tend vers 0.

Mais si l'on vient par un refroidissement brusque à faire passer l'acier d'une température supérieure à son point de transformation à une température pour laquelle la vitesse de transformation est devenue nulle, il n'y a plus de transformation possible : l'acier est trempé.

Suivant le bain de trempe utilisé, eau, huile, eau bouillante, bains métalliques, on peut passer plus ou moins rapidement cet espace critique et toutes les recettes parfois si bizarres de la trempe n'ont pas d'autres motifs.

Considérons, enfin, un acier que nous avons trempé, nous sommes donc en ce moment en martensite. Réchauffons peu à peu cet acier, nous allons lui faire subir un revenu pendant lequel petit à petit se reformera la perlite et la transformation se fera avec une vitesse indiquée dans le diagramme 10, en suivant une courbe analogue à celle du diagramme 9.

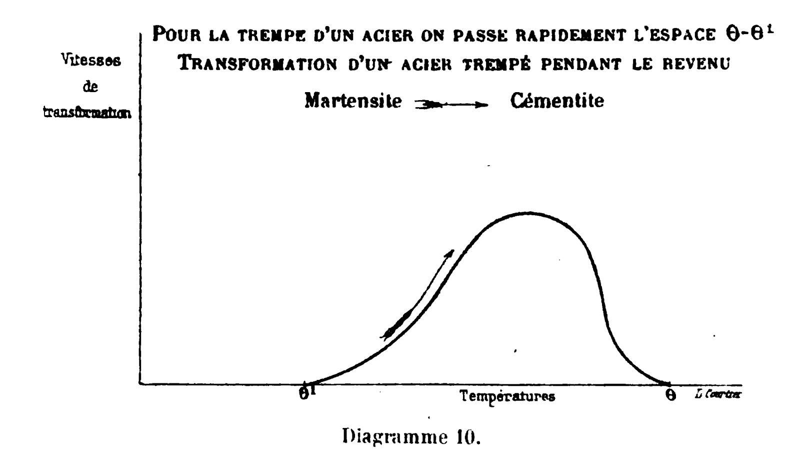



Diagramme 10.

Si maintenant nous considérons, au lieu de la vitesse de transformation, le rapport du carbone combiné ou dissous au carbone total, nous aurons des courbes qui ont leur intérêt. La vitesse de transformation à l'échauffement peut être définie de la façon suivante (comme il a été indiqué au-dessus des diagrammes).

Soit $c$ quantité de carbone dissous — C quantité de carbone total et $q = \frac{c}{C}$.

chimiques, je rappellerai, en les scindant les diagrammes shématiques, donnés par M. H. Le Chatelier (*Revue de Métallurgie*. 1904).

Sur l'axe des $x$ on porte les températures, sur l'axe des $y$ les vitesses de transformation. Le diagramme 8 représente un acier

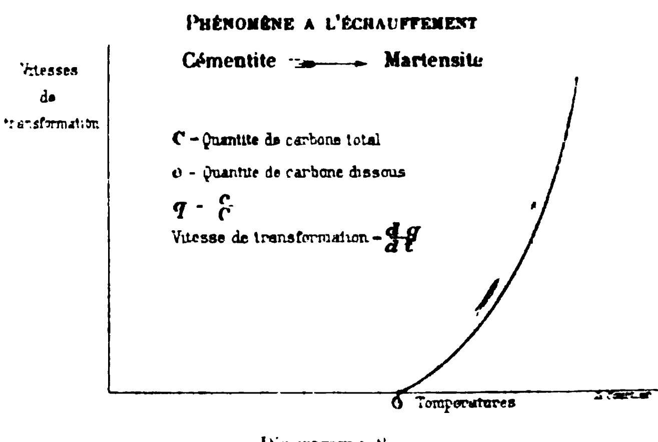



Diagramme 8.

porté au-dessus de son point de transformation ; la vitesse de transformation croît très rapidement.

Le diagramme 9 représente la variation du phénomène au-

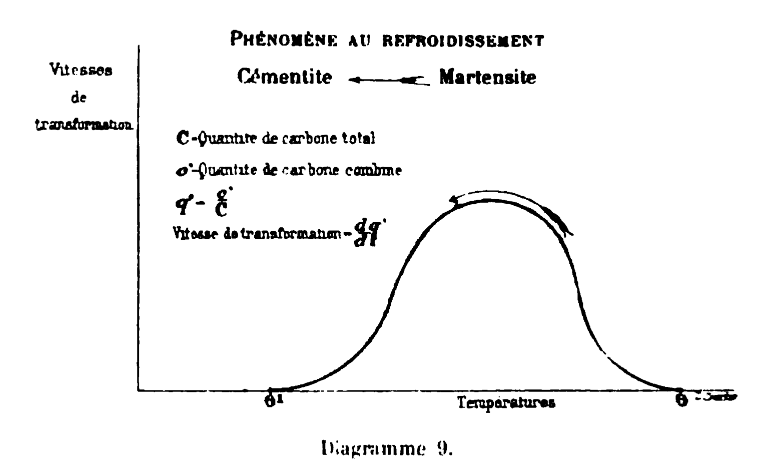



Diagramme 9.

dessous de son point de transformation. La vitesse de transformation passe par un maximum.

On voit donc que si l'on considère un acier chauffé au-dessus

de son point de transformation, si on le refroidit lentement la vitesse de transformation nulle d'abord, augmente, passe par un maximum et tend vers 0.

Mais si l'on vient par un refroidissement brusque à faire passer l'acier d'une température supérieure à son point de transformation à une température pour laquelle la vitesse de transformation est devenue nulle, il n'y a plus de transformation possible : l'acier est trempé.

Suivant le bain de trempe utilisé, eau, huile, eau bouillante, bains métalliques, on peut passer plus ou moins rapidement cet espace critique et toutes les recettes parfois si bizarres de la trempe n'ont pas d'autres motifs.

Considérons, enfin, un acier que nous avons trempé, nous sommes donc en ce moment en martensite. Réchauffons peu à peu cet acier, nous allons lui faire subir un revenu pendant lequel petit à petit se reformera la perlite et la transformation se fera avec une vitesse indiquée dans le diagramme 10, en suivant une courbe analogue à celle du diagramme 9.

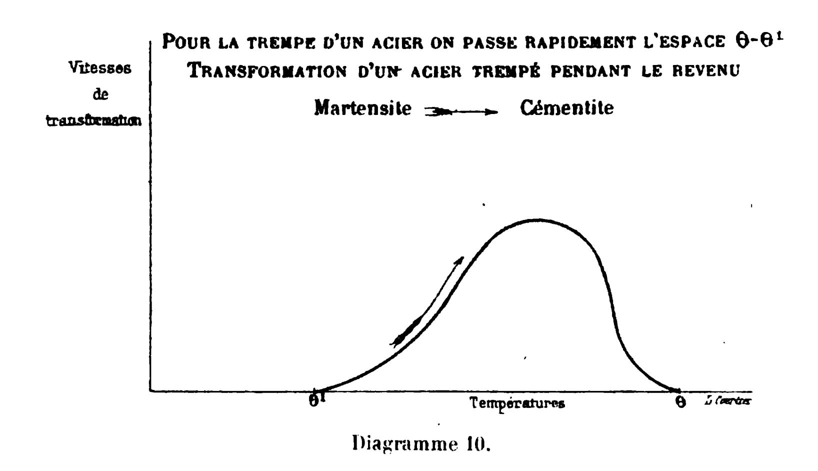



Diagramme 10.

Si maintenant nous considérons, au lieu de la vitesse de transformation, le rapport du carbone combiné ou dissous au carbone total, nous aurons des courbes qui ont leur intérêt. La vitesse de transformation à l'échauffement peut être définie de la façon suivante (comme il a été indiqué au-dessus des diagrammes).

Soit $c$ quantité de carbone dissous — C quantité de carbone total et $q = \frac{c}{C}$.

La vitesse de transformation V sera

$$V = \frac{dq}{dt}, \qquad (t = \text{le temps})$$

ou $V = \frac{dq}{dT}$ (T = température) si l'on suppose la vitesse d'échauffement constante.

Au refroidissement, on aura :

En appelant $c'$ la quantité de carbone dissous; C, la quantité de carbone total et $q' = \frac{c'}{C}$,

$$V' = \frac{dq}{dT},$$

en supposant la vitesse de refroidissement constante (V' = vitesse de transformation).

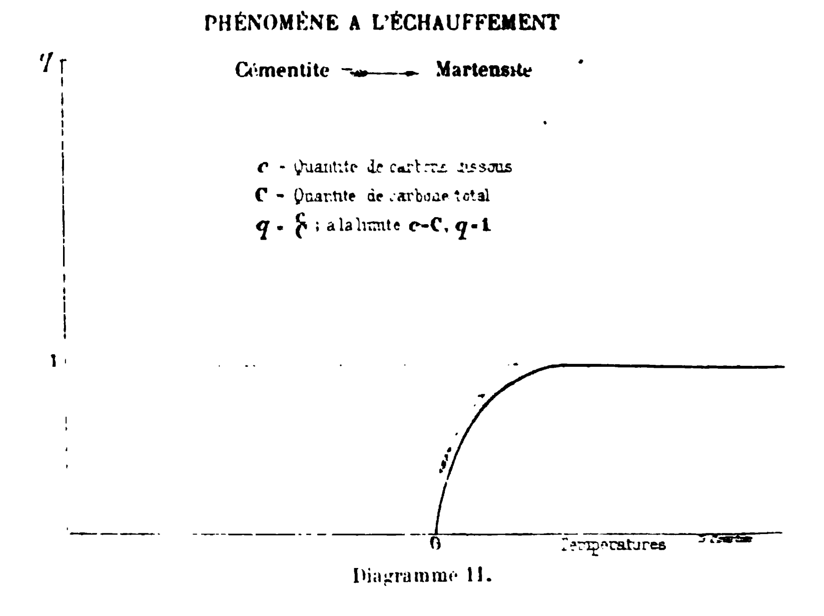



Diagramme 11.

Si nous portons sur l'axe des $x$ la température, sur l'axe des $y$ le rapport $q = \frac{c}{C}$ pour l'étude du phénomène à l'échauffement et $q' = \frac{c'}{C}$ pour l'étude du phénomène au refroidissement, on obtient les diagrammes 11 et 12.

Le diagramme 12 montre un point d'inflexion qui correspond au maximum de la courbe du diagramme 10, puisque les premières courbes 9 et 10 sont les courbes des tangentes des dernières.

Ceci montre que :

1° La transformation du carbone combiné en carbone dissous est rapide ;

2° La ségrégation de la cémentite, c'est-à-dire la transformation du carbone dissous en carbone combiné est plus lente.

Telle est, messieurs, aussi simplifiée que possible, la théorie moderne de la trempe des aciers au carbone.

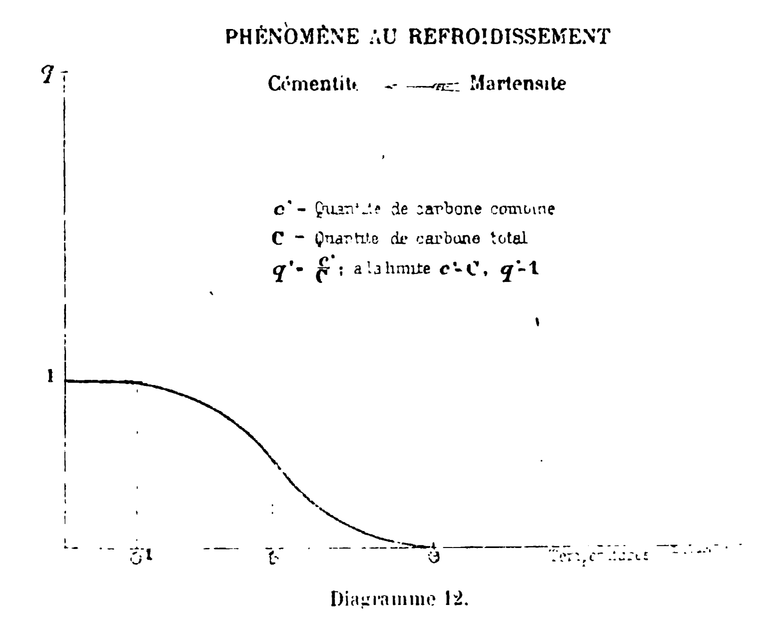



Diagramme 12.

Voyons maintenant comment nous allons pouvoir l'appliquer aux aciers à coupe rapide. Examinons d'abord la composition de ces alliages.

## Composition des aciers à coupe rapide.

Le tableau suivant donne la composition d'un certain nombre d'aciers à coupe rapide.

*Analyses d'aciers à coupe rapide.*

| N° | C | Cr | W | Mo | Mn | Si | S | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,60 | 2,83 | 9,92 | non dosé | traces | 0,80 | 0,01 | 0,01 |
| 2 | 0,79 | 2,90 | 18,28 | — | 0,25 | 2,35 | » | » |
| 3 | 0,72 | 5,25 | 13,55 | — | 0,18 | 0,92 | 0,01 | » |
| 4 | 0,45 | 8,20 | 22,70 | — | 0,23 | 0,40 | traces | traces |
| 5 | 0,62 | 3,05 | 14,30 | 0,52 | 0,20 | 1,55 | » | |
| 6 | 0,71 | 3 » | 12 » | non dosé | 0,30 | 0,20 | » | » |
| 7 | 0,43 | 4,50 | 15,80 | — | 0,17 | 0,22 | » | » |
| 8 | 0,45 | 1,60 | 13 » | — | 0,02 | 0,16 | » | |
| 9 | 0,45 | 2,05 | 9,80 | — | 0,18 | 0,60 | » | » |
| 10 | 0,60 | 8 » | 13,50 | — | 0,30 | 0,40 | » | |
| 11 | 0,20 | 2,10 | 7 » | — | 0,18 | 0,25 | » | » |
| 12 | 0,85 | 6 » | 11,50 | » | » | » | » | » |
| 13 | 0,95 | 7 » | 21 » | 1,50 | 0,30 | 0,70 | » | » |
| 14 | 0,80 | 5,50 | 11,50 | » | 0,10 | 0,10 | 0,015 | 0,01 |

Les cinq premières analyses correspondent à des aciers à outils très connus.

Les numéros 6 à 11 ont été analysés par M. Le Chatelier et donnés dans la *Revue de Métallurgie*.

Les trois dernières compositions nous ont été fournies par les aciéries elles-mêmes.

On notera que :

1° La caractéristique de ces aciers réside dans leur teneur en chrome et en tungstène;

2° La teneur en carbone est très variable de 0,20 à 0,95 0/0;

3° La teneur en chrome varie de 2,1 à 8,20 0/0;

4° La teneur en tungstène varie de 7 à 23 0/0;

5° Il est à noter que quelques marques contiennent du silicium en quantités assez notables (1,55 et 2,35 0/0).

De plus, dans deux marques d'aciers que nous n'avons pas analysées complètement, on a trouvé un peu de titane.

M. H. Le Chatelier donne comme composition moyenne des aciers à outils :

C = 0,50, Cr = 3, W = 12, Mo = 1, Si = 0,2, Mn = 0,2.

M. Gledhill, dans un récent travail d'une très grande importance et sur lequel nous reviendrons (1), a donné pour composition d'un des meilleurs aciers :

C = 0,55, Cr = 3,5 W = 13,5.

On voit que ces chiffres se rapprochent beaucoup des précédents.

En résumé, les aciers à coupe rapide sont des aciers chrome-tungstène.

Nous étudierons plus loin l'influence des différents éléments.

Examinons maintenant la constitution des aciers au chrome et des aciers au tungstène.

## Constitution des aciers au chrome et des aciers au tungstène.

Des travaux que j'ai eu l'honneur de vous exposer l'an dernier, il découle que les aciers au chrome peuvent être perlitiques, martensitiques (ou à troostite) ou à carbure double.

Leur constitution est résumée dans le tableau suivant :

CONSTITUTION DES ACIERS AU CHROME ET AU TUNGSTÈNE.

| CLASSES | MICROSTRUCTURES | ACIERS A 0,200 C | ACIERS A 0,800 C |
|---|---|---|---|
| 1 | Perlite | De 0 à 7 °/₀ Cr | De 0 à 3 °/₀ Cr |
| 2 | Martensite ou troostite | De 7 à 15 °/₀ Cr | De 3 à 10 °/₀ Cr |
| 3 | Carbure et martensite | De 15 à 20 °/₀ Cr | De 10 à 18 °/₀ Cr |
| 4 | Carbure | Cr > 20 °/₀ | Cr > 18 °/₀ |
| Quant aux aciers au tungstène, ils sont ou perlitiques ou à carbure double. | | | |
| 1 | Perlite | De 0 à 10 °/₀ W | De 0 à 5 °/₀ W |
| 2 | Carbure | W > 10 °/₀ | W > 5 °/₀ |

(1) Association des Ingénieurs de Coventry, 4 mars 1904.

## Constitution des aciers chrome-tungstène.

Pour définir la microstructure des aciers chrome-tungstène, nous avons considéré successivement :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A — | Un acier au chrome | | perlitique | à 0,200 C ; |
| B — | — | — | — | à 0,800 C ; |
| C — | — | — | martensitique | à 0,200 C ; |
| D — | — | — | — | à 0,800 C ; |
| E — | — | — | à carbure | à 0,200 C ; |
| F — | — | — | — | à 0,800 C. |

Et dans chaque échantillon nous avons ajouté des pourcentages de 2 à 15 0/0 de tungstène de façon à bien déterminer l'influence de ces éléments.

Bien que nous nous réservions de développer plus tard les résultats de nos recherches, nous pouvons cependant dire d'ores et déjà que l'on distingue trois microstructures.

1° Les aciers perlitiques ;

2° Les aciers martensitiques ;

3° Les aciers à carbure.

Examinons ce point plus en détail.

Tous les aciers chrome-tungstène utilisés comme aciers à outils à coupe rapide sont des aciers à carbure : après attaque à l'acide picrique, on y voit des grains blancs plus ou moins importants et plus ou moins nombreux sur un fond gris.

Les aciers perlitiques ne peuvent pas jouer le même rôle : quant aux aciers martensitiques, ils sont écartés comme très difficiles à forger.

Les aciers à carbure ne paraissent contenir qu'un seul carbure ; les réactifs agissent sur tous les grains de la même façon. Il semble donc que l'on soit en présence soit de carbure triple de fer, de chrome, de tungstène, ou, moins probablement, d'un carbure double de chrome et de tungstène.

Voyons maintenant l'influence de la trempe sur ces aciers.

Examinons d'abord ce qui arrive dans les aciers au chrome à carbure double.

Nous avons vu tout à l'heure que le carbure double était réparti dans la masse d'une façon à peu près uniforme.

Si l'on trempe un tel acier à des températures variant de 850 à 1 250 degrés (dès que le morceau est arrivé à la température), on n'obtient aucune modification. La trempe à 1 200 degrés a une action d'autant plus nette que la vitesse de refroidissement est plus grande.

Nous en donnerons un exemple détaillé : l'acier, à 0,820 0/0 de carbone et 26,5 0/0 de chrome refroidi à l'air (toujours à 1 200 degrés) montre des grains de carbure beaucoup moins accentués et rassemblés autour de polyèdres *(fig. 1, Pl. 110)*.

Trempé à l'eau, à la même température, cet acier montre des polyèdres dont le carbure a disparu en grande partie *(fig. 2, Pl. 110)*. Une trempe au mercure fait disparaître plus de carbure encore et donne des taches blanches, qui doivent être du fer $\gamma$ *(fig. 3, Pl. 110)*.

Les aciers au tungstène donnent des résultats analogues, c'est ainsi que l'acier à C = 0,795 — W = 2,73 trempé à l'air à 1 000 degrés donne des aiguilles noires de martensite ou plutôt de troosto-sorbite *(fig. 4, Pl. 110)*; à 1 100 degrés, par un refroidissement à l'air on obtient une martensite très fine *(fig. 5, Pl. 110)*.

Mais ici la trempe à 800 degrés dans l'eau produit le même effet.

En résumé, les aciers au chrome et dans les aciers au tungstène trempent, même par refroidissement à l'air, pourvu que la température de trempe soit suffisamment élevée et la transformation est accusée par une transformation du carbure.

Prenons, maintenant, les aciers chrome-tungstène, chauffons-les à des températures de plus en plus élevées et laissons-les refroidir à l'air; pour un même échantillon, le carbure disparaîtra d'autant plus que la température de chauffe aura été plus élevée.

Il reste donc du carbure dissous; c'est dire que l'acier prend la trempe à l'air, mais l'on ne voit pas la martensite qui doit être très fine.

Les micrographies *(fig. 6 à 12, Pl. 110)* montrent ce phénomène pour trois aciers à coupe rapide.

Examinons de plus près le phénomène et pour cela examinons le point de transformation de ces produits.

## Points de transformation dans les aciers chrome-tungstène.

M. Osmond a montré que le chauffage a une influence extrêmement nette sur les points critiques des aciers chrome-tungstène.

Plus la température de chauffage est élevée, plus le point critique dans le refroidissement qui suit est bas.

Reprenons la courbe déjà étudiée pour les aciers au carbone. Le maximum se déplace vers la gauche.

De plus, dire qu'il y a un abaissement au point de transformation, c'est dire que la ségrégation de la cémentite, c'est-à-dire la transformation martensite-cémentite, se fait lentement, plus lentement que dans les aciers au carbone.

Le moyen le plus simple pour traduire ce phénomène est d'admettre, si les points $\theta$ et $\theta'$ sont fixes, que la courbe s'affaisse.

Dans ces conditions, on conçoit très bien qu'à la limite, la

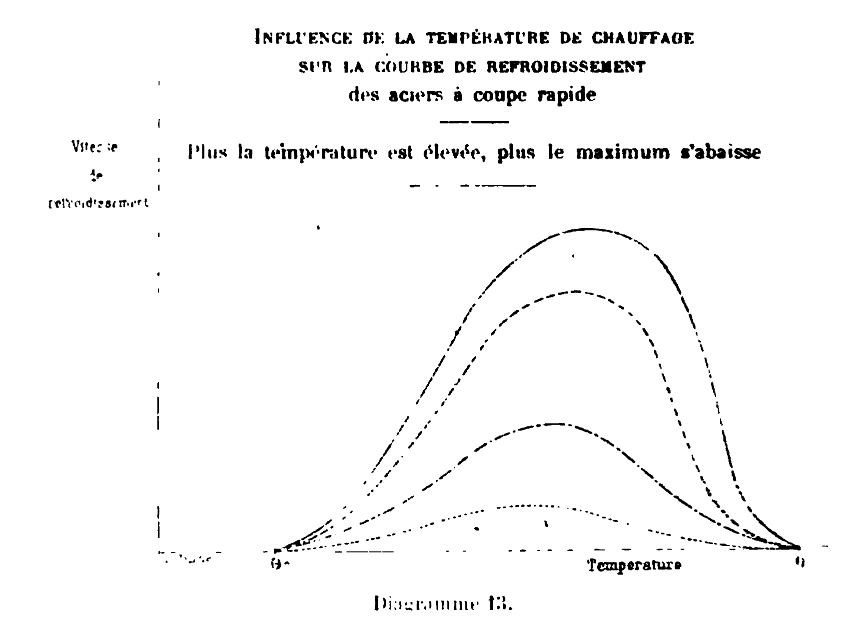



Diagramme 13.

courbe venant se confondre avec l'axe des $x$, l'acier soit *self-hardened*, quasi-trempé. L'acier prend la trempe à l'air (*diagramme 13*).

Or, nous avons dit, précédemment, que le revenu se faisait suivant une courbe analogue à celle du refroidissement lent, mais

décrite en sens contraire. Donc, le revenu doit être lui-même très difficile, et les aciers peuvent agir à des vitesses énormes, sans avoir à craindre la ségrégation de la cémentite.

On peut encore traduire le phénomène de la façon suivante, en portant sur l'axe des $y$ le rapport $\frac{c'}{C}$, les courbes s'affaissent (puisque l'ordonnée finale correspond à l'aire de la courbe de la figure précédente), et l'on note très nettement qu'à la fin le rapport $\frac{c'}{c}$ étant inférieur à 1, une partie du carbone reste dissoute. L'acier est trempé *(diagramme 14)*.

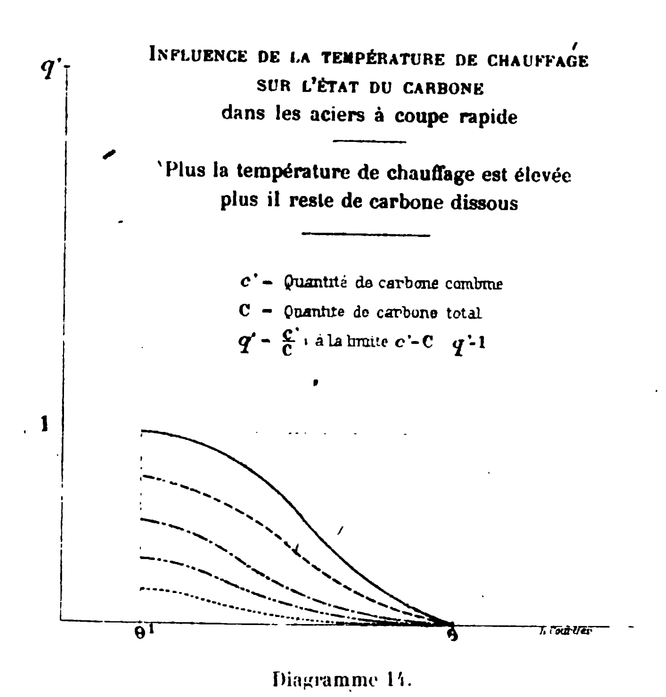



Diagramme 14.

En un mot, la présence du chrome et du tungstène a pour effet, pour me servir de l'expression de M. Osmond, de gêner *la ségrégation de la cémentite;* c'est dire que, si l'on considère un acier porté à une température telle que la cémentite soit dissoute, et si on le laisse refroidir, la cémentite se reforme avec plus de difficulté que dans les aciers au carbone ordinaires.

En un mot, la théorie des aciers à coupe rapide repose essentiellement sur ce fait : la cémentite de ces aciers se dissout, et

inversement se régénère, après dissolution, plus difficilement que celle des aciers au carbone.

A quoi attribuer ce fait?

En somme, nous nous trouvons en présence d'un phénomène de dissolution. Pour que ce phénomène ne se présente pas dans les mêmes conditions que les aciers au carbone, il faut qu'un changement existe dans les propriétés du solvant ou du produit à dissoudre.

Il est difficile, dans l'état actuel de la question, de préciser, cependant, il nous semble possible d'affirmer d'ores et déjà que la cémentite de ces aciers chrome-tungstène n'est pas la même que celle des aciers au carbone.

Nous venons donc de voir pourquoi ces aciers au chrome-tungstène peuvent prendre la *trempe à l'air*, après chauffage à très haute température.

Cela ne fait pas qu'un acier soit à coupe rapide; il faut que l'acier puisse supporter un certain revenu sans prendre la *trempe* cela afin de pouvoir enlever des copeaux au *bleu*.

Or, le fait de mieux résister au revenu trouve tout naturellement sa raison dans la difficulté de ségrégation de la cémentite: en effet, l'influence du revenu réside dans la transformation de la martensite en cémentite; or, le retard dans cette transformation est, en somme, la caractéristique des aciers à outils à coupe rapide. De plus, il se lit sur les courbes de refroidissement du diagramme 13 qui peuvent être regardées comme les courbes de revenu.

La théorie des aciers à coupe rapide n'est donc qu'un cas particulier de la théorie générale des aciers au carbone, telle qu'il découle des magnifiques travaux de M. Osmond.

## Influence de la composition.

Dans un mémoire extrêmement important (*The Iron Monger*, CIX-42, 1904) et auquel nous avons déjà fait allusion, M. Gledhill donne des résultats extrêmement intéressants sur l'influence des différents éléments. Nous les résumerons rapidement.

*Carbone.* — La meilleure teneur varie de 0,4 à 0,9; au-delà de 0,9 on a des aciers très fragiles, et le forgeage est très délicat.

*Chrome.* — Pour le chrome, on peut aller de 1 à 6 0/0. Les faibles teneurs conviennent très bien au travail des produits relativement doux; pour des produits durs, il faut plus de chrome. Il est nécessaire d'abaisser la teneur en carbone quand on augmente la teneur en chrome.

Il est très compréhensible qu'on ne puisse atteindre plus de 6 0/0 de chrome, car, alors, on obtient des aciers martensitiques, qui sont très fragiles et, de plus, impossibles à forger.

*Tungstène.* — M. Gledhill estime que, jusqu'à 16 0/0 de tungstène, le rendement croît, et qu'au delà de ce pourcentage la valeur de l'outil n'augmente pas. Ceci semble en contradiction avec certains de nos essais; nous avons eu des aciers à 18,22 et même 27 0/0 de tungstène, qui ont donné des résultats que ne fournissaient pas des aciers renfermant 13 à 15 0/0 de tungstène.

Nous croyons qu'il y a une relation des plus étroites entre les teneurs de carbone, de chrome et de tungstène.

*Molybdène.* — M. Gledhill a reconnu que le tungstène peut être remplacé par du molybdène, en quantités beaucoup moindres.

Ceci découle nettement du travail que nous vous avons présenté l'an dernier : 1 0/0 de molybdène équivaut à 4 0/0 de tungstène.

*Silicium.* — Ce corps augmenterait la puissance de coupe sur les matériaux durs, jusqu'à 3 0/0. Nous en avons déjà signalé des quantités importantes dans certaines marques.

## Propriétés.

La propriété la plus caractéristique des aciers à coupe rapide réside dans leur résistance remarquable au revenu.

On peut, sans crainte de les détremper, les porter à 500 et même à 600 degrés. A 700 degrés ils se détrempent.

C'est cette propriété caractéristique qui permet de les faire travailler dans les conditions que nous avons sommairement indiquées.

Une autre propriété, non moins curieuse, est la suivante : le revenu à basse température les durcit, au contraire des aciers ordinaires.

M. H. Le Chatelier attribue ce phénomène à une transforma-

tion de l'austenite, qui a pu se produire à haute température, en martensite, constituant beaucoup plus dur, qui est bien, en effet, le premier terme de la transformation de l'austenite en perlite.

## Traitement.

Si l'on examine les notices que remettent aux industriels les innombrables fabricants ou vendeurs d'aciers à outils à coupe rapide, on est frappé et de la diversité de ces traitements et de leur imprécision.

Je ne crois pas qu'on puisse, à l'heure actuelle, trouver des notices qui précisent les températures; toutes s'en tiennent aux termes si vagues de rouge-cerise-clair, rouge-cerise, etc.

On ne saurait trop s'élever, avec M. Le Chatelier, contre cette façon de faire, alors surtout que les inventeurs de ces aciers, MM. White et Taylor, avaient, dans leur brevet, décrit d'une façon très précise le traitement thermique à leur faire subir.

Ce traitement varie assurément avec la composition; cependant les essais que nous avons faits nous permettent d'indiquer, comme à peu près général pour les aciers a 11 à 13 W, 3 à 5 0/0 Cr et 0,40 à 0,60 C, le traitement suivant qui est, en somme, fort simple :

Découper les barres à chaud;

Forger entre 1 000 et 800 degrés; ne pas descendre au-dessous de 700 degrés;

Tremper à 1 200 degrés dans un courant d'air.

Ce traitement doit subir de petites variantes avec le genre et la forme des outils.

L'affûtage doit, d'après M. Gledhill, se faire avec du grès humide, en appuyant à la main. Il faut, en tous les cas, éviter les meules d'émeri humide, dont l'emploi peut entraîner des tapures.

Il vaut beaucoup mieux noyer l'acier dans l'eau.

## Résultats obtenus.

Il est fort difficile à résumer ici les résultats obtenus avec les aciers à coupe rapide. Tous ceux qui utilisent ces produits les connaissent.

Néanmoins, pour montrer l'intérêt qu'ils présentent, j'emprunterai à M. Le Chatelier le fait suivant (*Revue de Métallurgie*, 1904).

« Les ateliers du Canadian and Pacific Railway étaient devenus insuffisants, et l'on avait décidé de les doubler, en construisant un second bâtiment, semblable au premier. Les plans étaient prêts, et l'on allait passer à l'exécution, quand apparurent les aciers rapides; ils furent essayés de suite et l'augmentation de la production fut telle que la construction du nouvel atelier a été indéfiniment ajournée. »

Une remarque s'impose ici : il ne faut pas non plus généraliser à outrance l'emploi des aciers à coupe rapide. Il arrive très souvent qu'on utilise ces produits dans les mêmes conditions que les aciers au carbone, c'est-à-dire qu'on les porte à une température de 850 degrés, et qu'on les trempe à l'huile.

Traités ainsi, ces aciers ne sauraient agir comme aciers à coupe rapide. En effet, nous avons montré tout à l'heure, et je me permets d'insister sur ce point, qu'il est nécessaire — pour obtenir la résistance au revenu caractéristique de ces aciers — que la température de chauffe soit aussi grande que possible, en tous les cas supérieure à 1 000 degrés. Si l'on utilise la trempe à huile, il faut absolument porter les aciers à 1 000 ou 1 200 degrés et les tremper pendant le refroidissement, vers 900 à 850 degrés. Il est bon d'ajouter que le temps de chauffe agit dans le même sens que l'élévation de température.

En terminant, nous donnons une succession de tableaux tirés des différentes publications savantes ou de renseignements donnés par les fournisseurs. Ils montrent l'intérêt considérable que présente cette découverte scientifique, dont le point de départ se trouve dans les magnifiques recherches de notre savant compatriote, M. Osmond.

## ANNEXE

**Principaux résultats obtenus avec les aciers à coupe rapide :**

### Expériences faites a l'École de Technologie de Manchester (*Engineering*, 30 octobre et 6 novembre 1903).

Sur acier

| | DOUX (C = 0,200) | | | | DEMI-DUR (C = 0,300) | | | | DUR (C = 0,500) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Surface de coupe en mm² | 2,7 | 7,7 | 15,4 | 30,7 | 2,7 | 7,7 | 15,4 | 30,7 | 2,7 | 7,7 | 15,4 | 30,7 |
| Vitesse en mètr. p. min. | 46 | 34 | 28 | 17 | 33 | 24 | 15 | 12 | 16 | 12 | 11 | 65 |
| Poids enlevé en kg p. min. | 0,8 | 1,9 | 2,4 | 3,3 | 0,46 | 1,2 | 1,8 | 2,5 | 0,3 | 0,8 | 1,05 | 1,4 |

### Sur fonte

| | Douce | | | | Demi-dure | | | | Dure | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Surface de coupe en mm² | 2,7 | 7,7 | 13,4 | 30,7 | 2,7 | 7,7 | 13,4 | 30,7 | 2,7 | 7,7 | 13,4 | 30,7 |
| Vitesse en mèt. p. min | 33 | 30 | 22 | 17 | 18 | 15 | 10 | 8 | 12 | 10 | 7 | 7 |
| Poids enlevé en kg p. min. | 0,56 | 1,4 | 1,4 | 3,. | 0,3 | 0,8 | 1 | 1,5 | 0,2 | 0,2 | 1,2 | 1,6 |

### Résultats obtenus avec l'acier au carbone ordinaire.

Vitesse maximum sur acier doux : 9 m par minute (au lieu de 46 m avec l'acier rapide).

Poids maximum sur acier doux : 0,300 kg par minute (au lieu de 3 kg avec l'acier rapide).

### Résultats obtenus sur des bandages.

Aciers rapides : Vitesse = 7,30 m par minute. Poids du métal enlevé à l'heure = 45 à 55 kg.

Aciers ordinaires : Vitesse = 1,50 à 2,30 m par minute. Poids du métal enlevé à l'heure = 3,628 kg.

### Expériences diverses faites chez MM. Armstrong et Withworth.

*Fabrication des boulons d'attache des blindages :* Vitesse = 42 m par minute. Coupe = 18 mm. Avance = 0,8 mm. Temps de travail des outils sans affûtage = 7 heures.

*Travail des pièces d'acier forgé :* Vitesse = 21 m par minute. Coupe = 3 mm. Avance = 2,8 mm. Temps de travail des outils sans affûtage = 9 heures.

*Travail sur canon trempé à l'huile :* Vitesse = 12 m par minute. Coupe = 6 mm. Avance = 1,5 mm. Temps de travail des outils sans affûtage = 14 heures.

*Travail de tiges d'acier :* Vitesse = 60 m par minute. Coupe = 8 mm. Temps de travail des outils sans affûtage = 2 semaines.

*Perçage de trous* (foret de 19 mm) : 525 révolutions par minute. Avance : 32 cm par minute dans la fonte.

Cet acier a pu être utilisé dans les conditions suivantes :

| Vitesse par minute | Coupe | Avance |
|---|---|---|
| 65 m | 1,5 mm | 1,5 mm |
| 45 — | 4,5 — | 1,5 — |
| 30 — | 7 — | 3 — |
| 15 — | 9,5 — | 9,5 — |

## Expériences faites a la Tangye Tool and Electric, limited, de Birmingham,

sur un tour conduit électriquement.
(Pendleburg. *The Engineer*, XCVII, 331, 1904).

Matériaux tournés acier forgé $0^{m}43$ a une teneur de 3 0/0 de carbone.

| Numéros des échantillons | Profondeur de coupe en millimètres | Avance en millimètres | Vitesse de coupe mètres par minute | Force chevaux | | Métal enlevé kilogramme par | | Nombre de kilogrammes enlevés par heure et par cheval | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | totale | nette | minute | heure | total | net |
| 1 | 12 | 2,5 | 17,67 | 24,4 | 19,2 | 4,4 | 268,5 | 11,0 | 13,9 |
| 2 | 21 | 1,5 | 23,15 | 29,7 | 23,8 | 6,3 | 384,6 | 12,9 | 16,1 |
| 3 | 28 | 1,5 | 21,90 | 37,8 | 30,5 | 7,8 | 468,5 | 12,3 | 15,3 |
| 4 | 28 | 1,5 | 21,90 | 39 » | 31 » | 7,8 | 468,5 | 11,9 | 15,1 |
| 5 | 18 | 2,5 | 21,90 | 41 » | 33,3 | 8,3 | 500 » | 12,1 | 14,9 |
| 6 | 18 | 2,5 | 21,90 | 42 » | 33,5 | 8,3 | 500 » | 11,8 | 14,8 |
| 7 | 12 | 3,8 | 20,70 | 41,5 | 33 » | 8 » | 484 » | 11,6 | 14,6 |
| 8 | 15 | 3,8 | 12,50 | Rupture de l'outil. | | | | | |
| 9 | 15 | 3,8 | 12,50 | 27 » | 20 » | 6 » | 364,6 | 13,5 | 18,2 |
| 10 | 15 | 3,8 | 12,50 | 35 » | 29 » | 6 » | 364,6 | 10,4 | 12,5 |
| 11 | 15 | 3,8 | 16,45 | 40 » | 31 » | 7,9 | 480,3 | 12 » | 15,4 |
| 12 | 23 | 3,5 | 13,40 | 36 » | 28 » | 9,8 | 545,2 | 15,1 | 19,4 |
| 13 | 23 | 3,5 | 13,40 | 39 » | 30 » | 9,8 | 545,2 | 13,9 | 18,1 |
| 14 | 9 | 6,2 | 16,45 | 37 » | 29,5 | 7,8 | 468,5 | 12,6 | 15,8 |
| 15 | 4 | 6,2 | 10,95 | 34 » | 25 » | 7,8 | 468,5 | 13,7 | 18,7 |
| 16 | 7+ 7 | 3,8 | 12,50 | 26 » | 19,5 | 6 » | 364,6 | 14 » | 18,6 |
| 17 | 10+10 | 3,8 | 10,95 | 36 » | 28,2 | 6,4 | 448,1 | 12,4 | 15,8 |
| 18 | 6 | 6,2 | 16,45 | 29 » | 21,5 | 5,1 | 312 » | 10,7 | 14,5 |
| 19 | 31 | 1,5 | 16,75 | 29 » | 21,5 | 6,6 | 397 » | 13,7 | 18,4 |
| 20 | 32 | 1,5 | 16,75 | 30,5 | 23,5 | 6,8 | 417,3 | 13,6 | 17,7 |
| 22 | 32 | 2,5 | 13,10 | 35 » | 17,2 | 7,8 | 522 » | 14,9 | 18,8 |
| 23 | 32 | 3,5 | 14,65 | Rupture d'un pignon. | | | | | |

Résultats d'essais faits a Sheffield en acier travaillant a grande vitesse.

| 1904 | Dimension de l'outil | Forme de l'outil | Matière dans laquelle l'outil a été essayé — description | Matière dans laquelle l'outil a été essayé — caractère | Résistance au millimètre carré | Coupe — Profondeur en millimètres | Coupe — Longueur en mètres | Vitesse de coupe mètres par minute | Avance par révolution | Avec ou sans eau | Temps de la coupe minutes | Observations |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | | | | kg | | | | mm | | | |
| 15 Décembre. . | 31 | à dégrossir | Arbre | 0,30 0/0 C | 44 à 50 | 3,47 | 621 3/4 | 20,72 | 3,17 | Sans | 20 | Outil bon. |
| 16 — | — | — | — | | — | 9,52 | 424 1/3 | 20,72 | 5,08 | — | 8 | Arbre terminé. |
| 19 — | | — | — | | — | 12,7 | 437 | 12,19 | — | — | 10 | Outil assez bon. |
| 20 — | — | — | — | — | — | 6,34 | 365 3/4 | 12,19 | — | — | 40 | — |
| 20 — | — | — | — | — | — | 4,76 | 365 3/4 | 9,14 | — | — | 40 | — |
| 21 — | — | — | — | — | — | 6,34 | 1 371 1/2 | 9,14 | 3,47 | — | 150 | Outil bon. |
| 22 — | — | — | — | — | — | 9,52 | 420 | 11,58 | 3,17 | — | 42 | légèrement écrasé à quelques points. |
| 23 — | — | — | — | — | — | 6,34 | 439 | — | 3,17 | — | 30 | » |
| **1905** | | | | Barre acier au nickel | | | | | | | | |
| 8 Janvier . . . (Même outil.) | — | » | » | 0,55 0/0 C | 78 3/4 à 86 1/2 | 6,34 | 1 028 1/2 | 7,62 | 3,17 | — | 135 | Outil bon. (Même outil.) |
| 6 — (2e coupe) (Même outil.) | — | » | » | — | — | 6,34 | 1 536 | 7,32 | 4,76 | — | 210 | Outil usé. (Même outil.) |
| Outil réaffuté . (Même outil.) | — | » | » | — | — | 7,93 | 1 463 | 6,09 | 3,17 | » | 240 | Outil bon. (Même outil.) |
| 7 Passe finale. (Même outil.) | — | » | » | — | — | 6,34 | 1 243 1/2 | 5,18 | 3,17 | » | 240 | (Même outil.) |
| 25 Janvier. . . | — | » | » | Acier spécial | 66 environ | 22,22 | 457 | 7,62 | 5,08 | » | 300 | — |
| 26 — | — | » | » | 0,40 0/0 C | — | 11,11 | 737 | 7,92 | | » | 93 | — |
| 26 | — | » | » | — | — | 11,11 | 911 | 7,92 | — | » | 105 | |

## Renseignements donnés par différents industriels (1).

### Résultats donnés par MM. Belmont et Moine.

*Vitesse et serrage que l'on peut obtenir couramment.*

| NUANCE DE DURETÉ | RÉSISTANCE par MILLIMÈTRE | VITESSE à la MINUTE | AVANCEMENT DE L'OUTIL par tour | ÉPAISSEUR du MÉTAL ENLEVÉ |
|---|---|---|---|---|
| | kg | mm | mm | mm |
| Fonte douce. . . | 14 à 16 | 30 à 35 | 1 | 0,15 |
| Fonte grise serrée | 16 à 32 | 17 à 25 | 1 | 0,12 |
| Fonte blanche. . | » | 3 à 6 | 0,5 | 0,8 |
| Fer. . . . . . . | 30 à 35 | 35 à 40 | 1,2 | 0,15 |
| Acier doux . . . | 40 à 45 | 30 à 35 | 1,2 | 0,15 |
| | | 40 à 45 | 1 | 0,10 |
| Acier mi-doux. . | 45 à 55 | 20 à 25 | 1 | 0,15 |
| | | 30 à 35 | 1,7 | 0,10 |
| Acier mi-dur . . | 55 à 65 | 12 à 18 | 1 | 0,15 |
| | | 20 à 25 | 0,7 | 0,10 |
| Acier dur . . . | 65 à 75 | 7 à 10 | 1 | 0,12 |
| | | 11 à 15 | 0,6 | 0,8 |
| Acier très dur. | 75 | 4 à 6 | 0,8 | 0,10 |
| | | 6 à 10 | 0,5 | 0,5 |

On peut atteindre 60 m de vitesse et 2 mm de serrage pour les faibles passes sur la fonte douce et les aciers.

Ces chiffres ne sont pas absolus, mais ils ont été obtenus, on peut donc les majorer ou les diminuer suivant la façon dont le travail se présente : ainsi l'avancement de l'outil peut être sensiblement augmenté avec les faibles passes, etc.

(1) Ces renseignements sont classés par ordre alphabétique; ils n'impliquent pas que les aciers cités soient ni les meilleurs, ni les plus intéressants. — Les fabricants ont l'entière responsabilité des chiffres donnés.

## Renseignements donnés par les Forges de Chatillon, Commentry. Neuves-Maisons.

| MÉTAL sur lequel a lieu le travail | VITESSE TANGENTIELLE en centimetres par seconde | AVANCEMENT DE L'OUTIL en millimètres | ÉPAISSEUR DE PASSE en millimetres |
|---|---|---|---|
| | *Acier Sans-Pareil :* | | |
| Acier R = 35 kg. . . | 40 à 50 | 1 | 10 |
| — R = 50 kg. . . | 30 à 40 | 1 | 8 |
| — R = 60 à 70 kg. | 25 | 1 | 5 |
| Fonte grise . . . . . | 30 à 35 | 1 | 10 |
| | *Acier Incomparable :* | | |
| Acier R = 35 kg. . . | 40 à 50 | 1 | 10 |
| — R = 50 kg. . . | 30 à 40 | 1 | 8 |
| — R = 70 kg. . . | 25 à 30 | 1 | 5 |
| — R = 100 kg . . | 20 à 25 | 0.5 | 5 |
| Fonte grise . . . . . | 30 à 35 | 1 | 10 |
| Fonte truitée grise . . | 20 à 25 | 1 | 10 |

## Essais publiés par la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville.

| ACIER A TRAVAILLER | VITESSE DE COUPE PAR MINUTE | AVANCEMENT de l'outil par tour | ÉPAISSEUR DE LA PASSE | POIDS DES COPEAUX par minute |
|---|---|---|---|---|
| kg | m | mm | mm | kg |
| 45-50 | 30 à 35 | 1,0 | 10 | 2.7 |
| 55-65 | 20 à 25 | 0,8 | 8 | 0.8 |
| 70-80 | 7 à 12 | 0,6 | 8 | 0,38 |

Mais on pourrait augmenter tous ces chiffres très sensiblement sans abîmer l'outil. Dans des essais où l'on opère sur des ronds sans autre préoccupation que de produire des copeaux, on arrive à beaucoup plus, mais l'outil travaille moins longtemps sans affûtage.

## Essais publiés en Allemagne.

| ESSAIS | PIÈCES TRAVAILLÉES | VITESSE de coupe par minute en mètres | PROFONDEUR de copeau en millimètres | AVANCE en millimètres | POIDS de copeaux produits par minute en kilogr. |
|---|---|---|---|---|---|
| *A Dusseldorf.* Acier Bischoff. Tour de Fries. Le moteur de 20 ch qui conduisait le tour se montra trop faible plusieurs fois. L'outil et le tour auraient pu produire davantage. | Arbre d'acier Martin Siemens de 55 kg de résistance. C = 0,24. Mn = 0,45 | 20<br>20<br>20<br>64 | 33<br>24<br>21<br>10 | 12 1/2<br>2<br>2 1/2<br>3/4 | 7,8<br>9,4<br>8,2<br>3,7 |
| | Arbre d'acier Martin Siemens de 40-45 kg de résistance. C = 0,24. Mn = 0,45 | 16<br>19<br>20 | 33<br>33<br>40 | 2 1/2<br>2 1/2<br>1 1/2 | 10,3<br>12,3<br>9,4 |
| *A Berlin.* Production maximum de l'acier à outil — Tour Niles-Werke. | Arbre d'acier Martin Siemens de 77 kg de résistanée. C = 0,63. Mn = 1,22 | 6,7 | 10 | 1 1/4 | 0,7 |
| | Arbre d'acier Martin Siemens de 63,3 kg de résistance. C = 0,54. Mn = 0,93 | 9 | 13 | 2 1/2 | 2,3 |
| | Arbre d'acier Martin Siemens de 40,8 kg de résistance. C = 0,30. Mn = 0,58 | 21 | 7 | 3 | 3,5 |

# LES MACHINES A VAPEUR

## A L'EXPOSITION DE SAINT-LOUIS DE 1904

PAR

**K. SOSNOWSKI**

MEMBRE DU JURY ET RAPPORTEUR DU GROUPE 62

---

Les Chaudières et les Moteurs à vapeur, à l'Exposition de Saint-Louis, ont été classés dans le Département E, qui comprenait cinq groupes distincts : groupe 62 (Machines à vapeur), 63 (Machines motrices diverses), 64 (Appareils divers de la mécanique générale), 65 (Machines-outils), 66 (Outillage des arsenaux).

C'est le groupe 62 seul qui fait l'objet de cette communication.

Toutes les chaudieres et moteurs à vapeur ont été, à quelques exceptions près, réunies dans deux bâtiments distincts : « Steam Gaz and Fuel Building » et « Machinery Hall », placés l'un à côté de l'autre, et séparés par une voie de circulation.

### APERÇU GÉNÉRAL

### Chaudières.

Le plan n° 1 représente l'installation des chaudières, avec tous les appareils accessoires, tels que : convoyeurs de charbon, pompes d'alimentation, ventilateurs, etc.

Le bâtiment avait 100 m de longueur sur 92 m de largeur. Il était le seul de l'Exposition qui fût complètement en fer (les autres avaient des charpentes en bois); les murs et la toiture étaient en ciment armé.

Pour éviter des hautes cheminées, très coûteuses dans ce pays, on avait recours à plusieurs cheminées en tôle, avec tirage artificiel produit par des ventilateurs mus par de petites machines à vapeur.

Il y avait en tout 52 chaudières installées, pouvant vaporiser 350 000 l d'eau à l'heure.

En dehors de cinq chaudières françaises et deux allemandes, toutes les autres étaient de construction américaine.

Fig. 1 - PLAN DE LA CHAUFFERIE

Ce qui caractérise avant tout ces chaudières, c'est la production de vapeur à *haute pression*, dont le minimum était de 12,5 kg alors qu'en 1900 les chaudières fonctionnaient uniformément à 11 kg et, en 1889, à 6 kg. Quelques-unes étaient timbrées à

14 kg (Babcock et Wilcox), à 15 kg (Niclausse et Cahall), et même à 21 kg (Belleville).

Il n'y a pas eu de *surchauffe*. La chaudière Belleville seule était munie d'un surchauffeur.

Les chaudières américaines étaient toutes munies de *grilles mécaniques*.

A ce point de vue, on distingue deux groupes principaux de générateurs : dans les uns, le charbon repose sur une grille à chaîne sans fin, laquelle se meut lentement avec sa charge (Cahall and Green Travelling Chain Grates) : dans les autres, le charbon glisse lentement de l'avant à l'arrière sur une grille inclinée à 45 degrés environ, dont les barreaux ont un mouvement de bascule intermittent (Roney Mechanical Stoker).

La première de ces grilles figurait sur les chaudières Cahall et Heine ; nous l'avons vue en 1900, sur les chaudières de la Compagnie Babcock et Wilcox, qui était la première à les employer, mais qui les a abandonnées pour le système Roney.

Ces grilles à chargement automatique permettent d'obtenir l'alimentation, à intervalles réguliers, des quantités aussi petites de charbon qu'il est nécessaire pour que les gaz effectuent leur combustion complète dans le temps qui s'écoule entre chaque chargement. Elles permettent d'éviter le refroidissement causé par l'excès de rentrées d'air qui a lieu à chaque ouverture de la porte du foyer, quand on chauffe à la main. Elles ont, en outre, l'avantage de n'exiger presque aucune main-d'œuvre, et de rendre les chaufferies plus propres qu'elles ne sont, d'une façon générale, avec le chargement ordinaire. Toutefois, pour que leur rendement soit bon, il faut bien établir les conditions de marche en fonction de telle ou telle qualité de charbon.

Contrairement à ce qu'il y avait en 1893, à l'Exposition de Chicago, où toutes les chaudières du Palais des Machines étaient chauffées par du pétrole, il n'y avait pas un seul foyer à pétrole.

L'*alimentation* des chaudières *en charbon* se faisait d'une façon automatique. Les wagons, qui arrivent par des voies d'accès spéciales à l'extrémité des bâtiments, sont déchargés dans une fosse, d'où le charbon est puisé par des convoyeurs, pour être remonté jusqu'aux bandes mobiles, qui le transportent et le déversent, soit dans des trémies qui communiquent avec les grilles quand l'alimentation est mécanique, soit par terre quand l'alimentation se fait à bras d'hommes.

Les *cendres*, d'autre part, retombaient dans une galerie souterraine et étaient enlevées par de petits wagonets.

Les *pompes alimentaires* étaient installées ensemble et comprenaient les types suivants : 1 Smith Vail horizontale duplex; 1 Gould verticale triplex; 1 Gameron horizontale; 2 Narren verticales; 1 National horizontale; 1 Hooker horizontale, et 1 Smith Vail verticale. Il n'y avait pas une seule pompe d'alimentation centrifuge.

Dans le même hall, on avait établi une *station* complète *contre l'incendie*, comprenant 14 pompes à vapeur Worthington, pouvant fournir de l'eau sous pression de 20 kg.

Il y avait aussi installé, contre ce bâtiment, quatre grandes *tours réfrigérantes* à ventilateur, pour les machines Westinghouse.

## Moteurs à vapeur.

Excepté quelques machines isolées et celles qui figuraient au pavillon de la « Steam Turbine de Laval », de New-York, les machines à vapeur ont été logées presque entièrement dans le Hall des Machines, de 300 m de longueur sur 160 m de largeur, divisé en 53 blocs, représenté partiellement sur la figure 2.

Au point de vue des machines, de même qu'à celui des chaudières, l'Exposition de Saint-Louis n'avait pas de caractère international, mais presque *exclusivement américain.*

Il n'y avait que trois exposants étrangers : les Établissements Delaunay-Belleville, de Saint-Denis; la Société Alsacienne de Constructions mécaniques, de Belfort-Mulhouse, et la Société de Laval, de Paris.

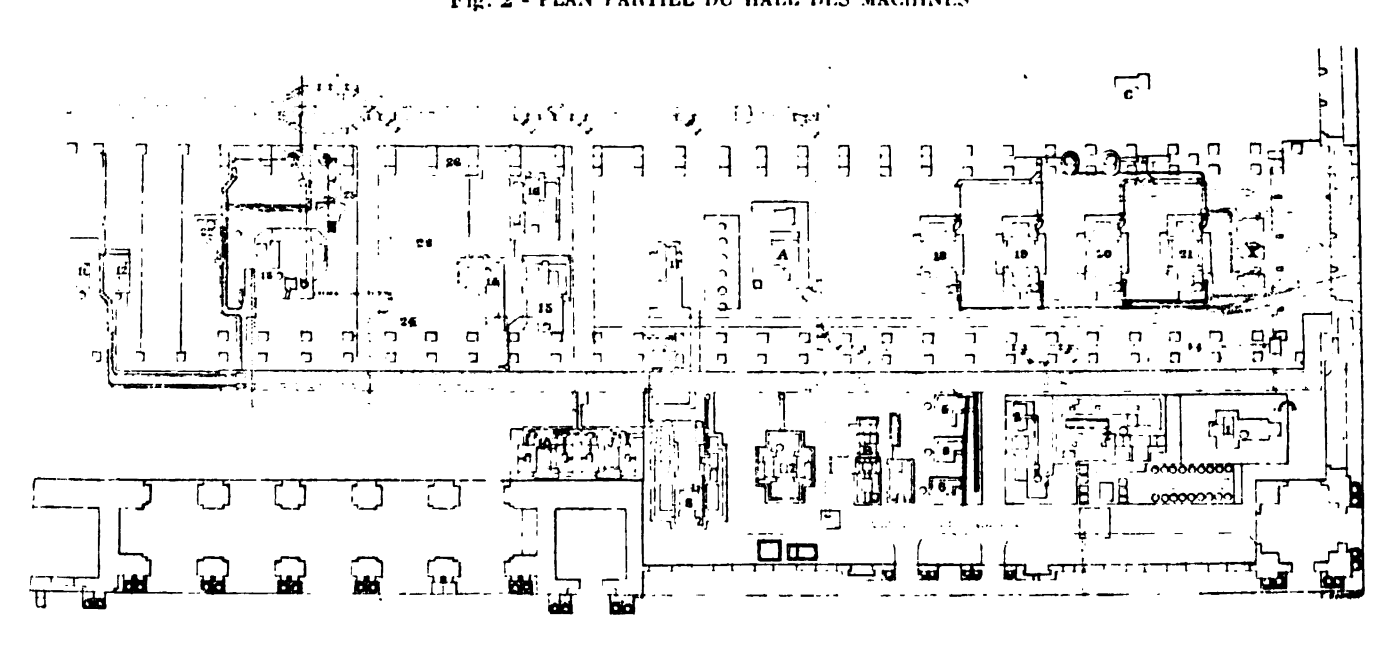
*Classification.* — Les moteurs exposés appartenaient à deux types distincts : moteurs à piston à mouvement alternatif (27 exposants), et turbines à vapeur (5 exposants).

Les *machines à piston* comprenaient :

2 moteurs monocylindriques;
22 — compound, par moitié à cylindres parallèles et cylindres en tandem;
2 moteurs à triple expansion;
1 — à quadruple expansion.

La plupart étaient verticales, du type américain bien connu.

Fig. 2 - PLAN PARTIEL DU HALL DES MACHINES



Les *turbines* comprenaient :

Turbines à action, simples ou multiples, horizontales ou verticales, et

Turbines à réaction multiples horizontales.

Il n'y avait qu'un seul *moteur rotatif*, exposé par la Seymour Anguish Engine C°, de Chicago.

*Applications.* — Les machines à piston, à l'exception de trois, étaient toutes accouplées directement aux générateurs électriques, à courant continu ou alternatif, et servaient à la production de l'énergie utilisée à l'Exposition même, soit comme éclairage, soit comme force motrice, traction, etc.

Deux commandaient des compresseurs d'air.

Une faisait partie du groupe élévatoire comprenant une pompe à triple effet,

Les turbines commandaient toutes des alternateurs, à l'exception des turbines de Laval, lesquelles figuraient comme moteurs à poulies et sous forme de nombreuses applications, telles que turbines-dynamos, turbines-pompes et turbines-ventilateurs.

*Vapeur. Pression et surchauffe.* — La pression adoptée pour les machines en marche était de 10,5 kg, et il n'y a pas eu de surchauffe, exception faite pour le moteur Delaunay-Belleville, qui pouvait marcher à 21 kg et 300 degrés de surchauffe; aussi, la distribution par soupapes particulièrement appropriées à l'emploi des hautes pressions et des hautes températures n'avait pas de raison d'être et n'y figurait pas.

*Distribution.* — La distribution la plus employée est la distribution Corliss.

Une machine est à tiroirs plans;

Une à tiroir plan pour le cylindre à basse pression, et tiroir cylindrique pour le cylindre à haute pression;

Les autres sont à tiroirs cylindriques ou pistons valves.

*Enveloppe de vapeur.* — D'une façon générale, les machines sont dépourvues des enveloppes de vapeur, ce qui s'explique par leur grande vitesse.

Les receivers sont généralement réchauffés.

*Condensation.* — La condensation, en dehors des types de condenseurs connus, se fait par le condenseur dit barométrique, très employé aux États-Unis dans les grandes installations. La vapeur et l'eau sont amenées dans un réservoir placé à une hau-

teur de 11 à 12 m au moins; le mélange se fait au sommet, de même que la séparation de l'air et de l'eau. L'air sortant de la chambre barométrique est saturé de vapeur d'eau, mais cette vapeur se condense au moment où l'air passe dans un serpentin refroidi par l'eau d'injection avant d'être aspirée par une pompe spéciale, qui n'est qu'une pompe à air sec.

*Puissance.* — La puissance totale des machines en mouvement dépassait 35000 ch, avec un maximum unitaire de 5000 ch et une puissance moyenne de 1200 ch.

La comparaison ci-après, avec les Expositions précédentes, fait ressortir l'accroissement considérable des unités.

Alors qu'*en 1867* la puissance totale des machines en fonctionnement, soit 867 ch, était fournie par 52 unités, ce qui donnait une moyenne de *16 ch par machine; en 1878*, on a 2533 ch, avec 41 machines, soit *62 ch par machine; en 1889*, 5320 ch avec 32 machines, soit *166 ch par machine; en 1893*, à Chicago, 36380 ch avec 85 machines, soit *428 ch par machine; en 1900*, 36000 ch avec 37 machines, soit *975 ch par machine;* on trouve à Saint-Louis, en *1904*, 35500 ch avec 30 machines, soit une moyenne de *1180 ch, et 1300 ch* si l'on tient compte des groupes électrogènes seuls.

Alors que les groupes électrogènes de la Compagnie Westinghouse, à l'Exposition de Chicago, en 1893, étaient de 750 kilowats au maximum, ceux de l'Exposition de Saint-Louis sont de 2000 kilowatts.

*Vitesse.* — La vitesse des pistons est considérablement augmentée. Alors qu'en 1867 cette vitesse était de 1 m à 1,50 m, elle ne descend pas, pour les moteurs exposés, en moyenne, au-dessous de 3 m, et dépasse 5 m dans la machine Delaunay Belleville.

Le *nombre de tours* atteint 335 pour 1500 ch (Delaunay-Belleville).
— — 83 — 3000 ch (Westinghouse).
— — 75 — 5000 ch (Allis Chalmers).

Avant de passer à la description détaillée des différentes machines à vapeur, nous ne pouvons ne pas mentionner le *Pavillon de la Mécanique française*. Ce pavillon était construit sur un emplacement adossé contre un trumeau situé entre deux portes principales de l'entrée du Hall des Machines.

La documentation générale de ce pavillon d'honneur a été étudiée en vue de marquer les grandes étapes en France de la

Mécanique et de ses applications. Ces étapes devaient être synthétisées par les noms et les portraits des mécaniciens, savants et inventeurs qui ont permis de les franchir, et qui sont ainsi les pionniers de la Mécanique actuelle.

Sur les panneaux de façade étaient inscrits les noms des savants et des mécaniciens qui ont contribué, depuis 200 ans, par leurs études et leurs travaux, au développement de la mécanique en France.

A l'intérieur, au fond, en face de l'entrée, figurait une grande photographie de Denis Papin; sur les panneaux latéraux, les portraits de Marc Seguin, Julien Belleville, Marie-Joseph-Denis Farcot, Eugène Bourdon, Frédéric Sauvage et Henri Giffard.

*Conclusion.* — En résumé, en fait de moteurs à piston, il n'y a pas eu à proprement parler, depuis l'Exposition de 1900, de type entièrement nouveau.

Tout se borne au perfectionnement des détails pour assurer un bon fonctionnement malgré leur allure de plus en plus rapide. On voit la préoccupation de rendre les machines peu encombrantes, légères, moins coûteuses, mais la question de rendement n'a pas la même importance que chez nous.

La *turbine à vapeur* tend à prendre complètement la place des moteurs à piston dans toutes les grandes installations et surtout dans toutes les applications électriques.

C'est là certainement la note dominante de l'état actuel de la question et le fait le plus saillant révélé par l'exposition de Saint-Louis dans l'ordre mécanique.

Alors qu'en 1900, à l'Exposition universelle de Paris, il n'y a eu que deux types de turbines représentés, turbine de Laval et Parsons et sur plus de 36 000 ch de machines en mouvement de la Station centrale génératrice, il y a eu seulement *700* ch en turbines (deux turbines de Laval de 350 ch chacune), l'exposition de Saint-Louis comporte plus de *5.000* ch de turbines en marche.

La visite des grandes usines des États-Unis confirme d'ailleurs plus que l'Exposition même le grand mouvement qui se dessine,

Il y a actuellement aux États-Unis une Société pour la construction exclusive des turbines à vapeur : Steam Turbine de Laval Company, à Trenton. La Compagnie Westinghouse, à Pittsburg, construit la turbine Westinghouse-Parsons; la Compagnie General Electric, à Schenectady, construit la turbine Curtis ;

la Compagnie Hooven-Owens-Rentschler, de Hamilton, construit la turbine Holzwart, genre Rateau; Allis Chalmers, de Chicago, turbine Fullagar; Harisburg Foundry and Machine Works, et d'autres constructeurs se préoccupent de la création de types plus ou moins nouveaux.

Toutes ces machines procèdent de deux types connus : turbine à action, genre de Laval, ou turbine à réaction, genre Parsons.

Si les États-Unis, après beaucoup d'autres pays, se dirigent actuellement, et à pas très rapides, dans cette nouvelle voie, on peut affirmer, sans crainte d'être démenti, que la France a été la première à donner le signal de cette révolution industrielle.

## DESCRIPTION

### Chaudières.

Nous nous contenterons de donner quelques indications générales sur les chaudières qui figuraient à l'Exposition de Saint-Louis.

#### Dusseldorf Ratinger Rohrenkesselfabrik

(ancienne maison Durr et C°) expose une chaudière de 214 m² de surface de chauffe et de 10,5 m de surface de surchauffe, timbré à 13 kg, surface de grille 5 m².

Elle est à tubes doubles concentriques, inclinés sur l'horizontale et possède en avant un collecteur unique. La lame d'eau est séparée par une cloison verticale sur laquelle sont fixés les tubes intérieurs directeurs. Le corps supérieur est transversal et à l'avant.

Cette chaudière rappelle la chaudière Niclausse, il n'y a que la lame d'eau unique à l'avant qui l'en distingue.

Cette chaudière est portée pour 500 ch, avec tirage naturel, et peut donner 900, avec tirage forcé (38 mm d'eau); son poids est de 21 t et elle peut contenir 4 700 kg d'eau.

#### Schutte Kessel Konsortium de Bremenhaven.

Une chaudière de 156 m² de surface de chauffe, timbrée à 13 kg, pouvant donner 400 ch. C'est une combinaison d'une chaudière à tubes d'eau de faible diamètre avec chaudière cylindrique.

J. ET A. NICLAUSSE DE PARIS.

Deux chaudières de 194 m² de surface de chauffe et 4,8 m² de surface de grille pouvant développer 500 ch. Timbre 15 kg, nombre d'éléments 10, longueur 2,65 m, nombre de tubes 300, diamètre des tubes intérieurs 76 mm, diamètre des tubes extérieurs 83,5 mm.

DELAUNAY BELLEVILLE.

Trois chaudières de 195 m² de surfacede chauffe, 5,4 m² de surface de grille, timbrées à 21 kg, pouvant donner chacune 500 ch. Elles sont munies d'économiseurset de surchauffeurs.

BABKCOK ET WILCOX DE NEW-YORK.

Seize chaudières de 350 m² de surface de chauffe et 10,7 m² de surface de grille, timbrées à 14 kg, pouvant donner chacune 400 ch.

Elles sont à grilles inclinées Roney à alimentation continue.

Le tirage des cheminées est contrôlé par une vanne qui fait varier la vitesse du ventilateur, suivant les fluctuations de la pression.

Les trois types ci-dessus sont trop connus, pour qu'il soit nécessaire de s'y arrêter.

AULTMAN TAYLOR MACHINERY C°, DE MANSFIELD, OHIO.

Chaudière du système Cahall :

8 horizontales de 362 m² de surface de chauffe et 6,1 m² de surface de grille ;

8 horizontales de 472 m² de surface de chauffe et 6,8 m² de surface de grille ;

3 verticales de 238 m² de surface de chauffe et 4,8 m² de surface de grille.

Les premières sont de 400 ch et timbrées à 12,5 kg ;

Les secondes sont de 508 ch et timbrées de 12,5 à 15 kg ;

Les troisièmes sont de 250 ch et timbrées à 12,5 kg.

Les chaudières verticales sont à deux réservoirs réunis par des tubes verticaux.

Les tubes sont disposés de façon à laisser à l'intérieur une sorte de chambre de combustion qui se prolonge dans le réservoir supérieur par une cheminée centrale.

Les deux réservoirs communiquent extérieurement par un tube qui assure la circulation continue d'eau.

Cette chaudière offre une très grande analogie avec les chaudières Babcock et Wilcox.

### Heine Safety Boiler C°, de Saint-Louis.

Huit chaudières à grille mécanique Green de 285 m² de surface de chauffe et 6,7 m² de surface de grille, timbrées à 12,5 kg de 400 ch de puissance.

Ce sont des chaudières à deux lames d'eau constituées par des caisses en tôle d'acier, à l'avant et à l'arrière, entretoisées par un faisceau de tubes.

Le réservoir de vapeur est disposé longitudinalement.

### Cloubrock Steam Boiler C°, de Brooklyn.

Deux chaudières verticales, système Climax :

L'une de 246 m² de surface de chauffe, 5,2 m² de surface de grille ;

L'autre de 208 m² de surface de chauffe, 5,2 m² de surface de grille.

Toutes les deux timbrées à 12,5 kg et respectivement de 300 et 250 ch.

Cette chaudière se compose de deux cylindres concentriques verticaux entourés de petits tubes recourbés en hélice.

Le premier cylindre reçoit l'eau d'alimentation et la vaporisation se fait dans les tubes qui l'entourent; le second sert de collecteur de vapeur, laquelle lui arrive après avoir traversé une série de petits tubes qui l'entourent et où elle se sèche.

La grille est placée dans l'espace annulaire entre le tube central et l'enveloppe extérieure.

TABLEAU I

*Chaudières à l'Exposition de Saint-Louis.*

| DÉSIGNATION et NOMBRE DE CHAUDIÈRES | PUISSANCE en chevaux | PRESSION de vapeur | SURFACE de grille | SURFACE de chauffe |
|---|---|---|---|---|
| | | atmosphères | mètres carrés | mètres carrés |
| Dusseldorf Ratinger Rohrenkessel fabrik, ancienne maison Durr et C°, Ratingen (1 chaudière) . . . . . . | 500 | 13 | 5 | 214 |
| Schütte Kessel Konsortium, à Bremerhaven (1 chaudière). . . . . . | 400 | 13 | 4,3 | 156 |
| J. et. A Niclausse, à Paris (2 chaudières). | 500 | 15 | 4,8 | 193,5 |
| Delaunay Belleville, à Saint-Denis (3 chaudières). . . . . . . . . . . | 500 | 21 | 5,4 | 195,3 |
| Aultman Taylor Machinery C°, à Mansfield Ohio : | | | | |
| Système Cahall horizontal (8 chaud.). | 400 | 12,5 | 6,1 | 362 |
| — — — (8 chaud.). | 508 | 12,5-15 | 6,8 | 472 |
| — — vertical (3 chaudières). | 250 | 12,5 | 4,8 | 238 |
| Babcock Wilcox C°, à New-York (16 chaudières). . . . . . . . . . . . | 400 | 12,5-14 | 10,7 | 350 |
| Heine Safety Boiler C°, à Saint-Louis (8 chaudières) . . . . . . . . . . | 400 | 12,5 | 6,7 | 285 |
| Cloubrock Steam Boiler C°, à Brooklyn (1 chaudière verticale). . . . . . . | 300 | 12,5 | 5,2 | 246 |
| Cloubrock Steam Boiler C°, à Brooklyn (1 chaudière verticale). . . . . . . | 250 | 12,5 | 5,2 | 208 |

## Moteurs à vapeur.

Nous donnerons la description des moteurs suivant la numérotation du plan 2.

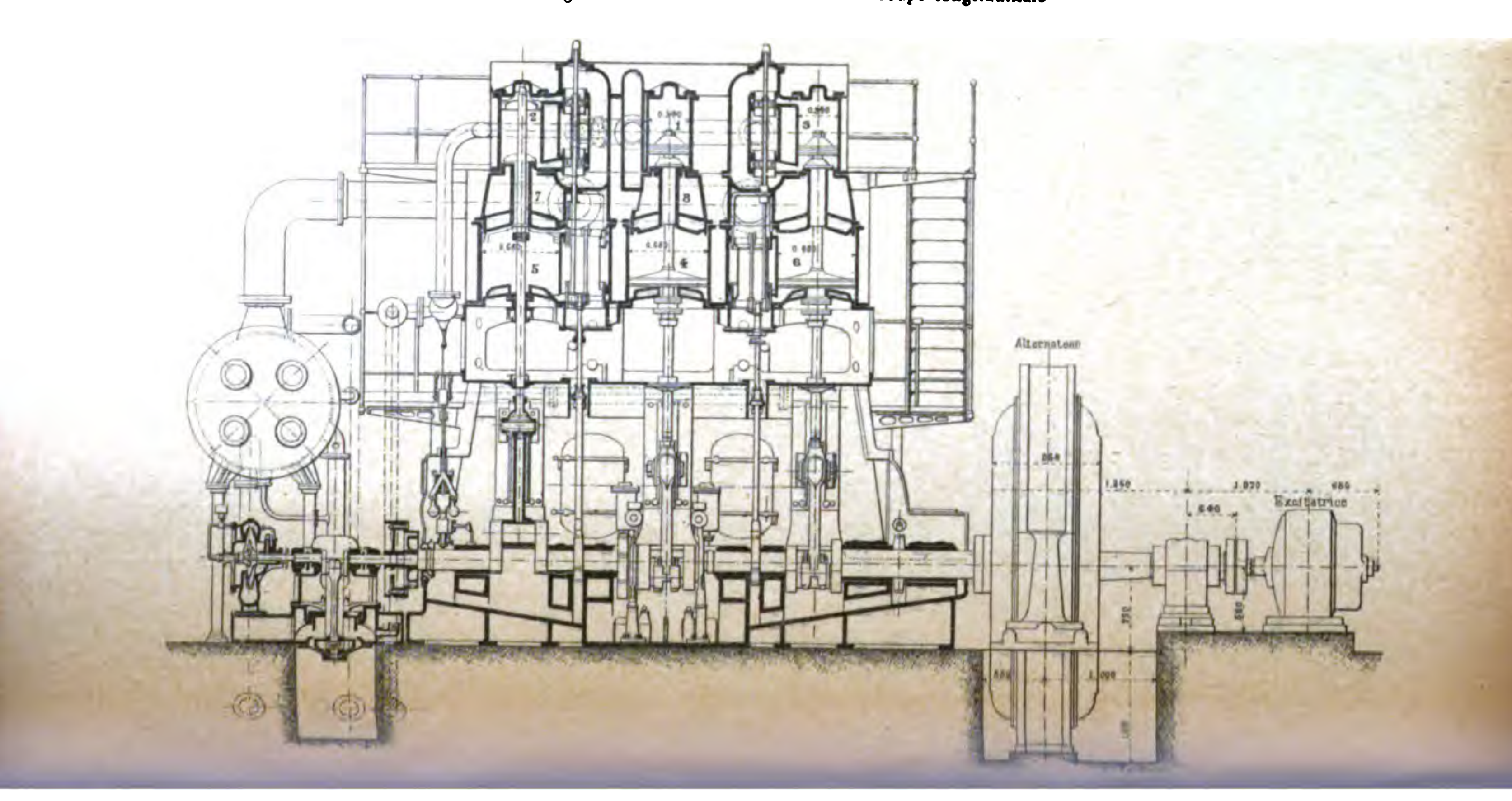
### DELAUNAY BELLEVILLE, SAINT-DENIS *(1, fig. 2)*.

La machine est à grande vitesse à quadruple expansion.

Elle comporte trois lignes parallèles de chacune deux cylindres disposés verticalement en tandem *(fig. 3)*. L'ensemble de ces cylindres se décompose en :

Un cylindre admetteur à haute pression numéroté 1, dans lequel s'opère la première détente ;

Fig. 3 - DELAUNAY BELLEVILLE - Coupe longitudinale



Deux cylindres de deuxième détente numérotés 2 et 3;

Un cylindre de troisième détente numéroté 4;

Deux cylindres à basse pression, ou de quatrième détente, numérotés 5 et 6.

Les cylindres à haute et à moyenne pression sont séparés des cylindres à basse pression par des pièces de fonte ou entretoises numérotées 7, 8, 9 qui les supportent et qui servent de couvercle aux cylindres inférieurs et de fond aux cylindres supérieurs. Ces pièces comportent intérieurement des garnitures étanches sur les tiges de pistons et de tiroirs.

Les dimensions caractéristiques des cylindres sont les suivantes:

Diamètre du cylindre à haute pression et des deux cylindres à moyenne pression, n$^{os}$ 1, 2 et 3, 340 mm;

Diamètre du cylindre de troisième détente n° 4 et des deux cylindres à basse pression, n$^{os}$ 5 et 6, 680 mm;

Course commune des pistons, 470 mm;

Nombre de tours par minute, 335.

Les cylindres sont pourvus de calorifuges et recouverts d'une enveloppe en tôle; il n'y a aucune enveloppe de vapeur.

Des robinets permettent d'introduire de la vapeur dans les divers réservoirs et cylindres à moyenne et à basse pression, pour le réchauffage avant la mise en marche.

Un robinet spécial by-pass permet d'admettre la vapeur directement dans le cylindre HP sans passer par le régulateur, de manière à pouvoir mettre la machine à la vitesse convenable pour la mise en phase de l'alternateur avec d'autres alimentant le même réseau.

Son encombrement est de 5,600 m de longueur × 2,800 m de largeur et 5,200 m de hauteur.

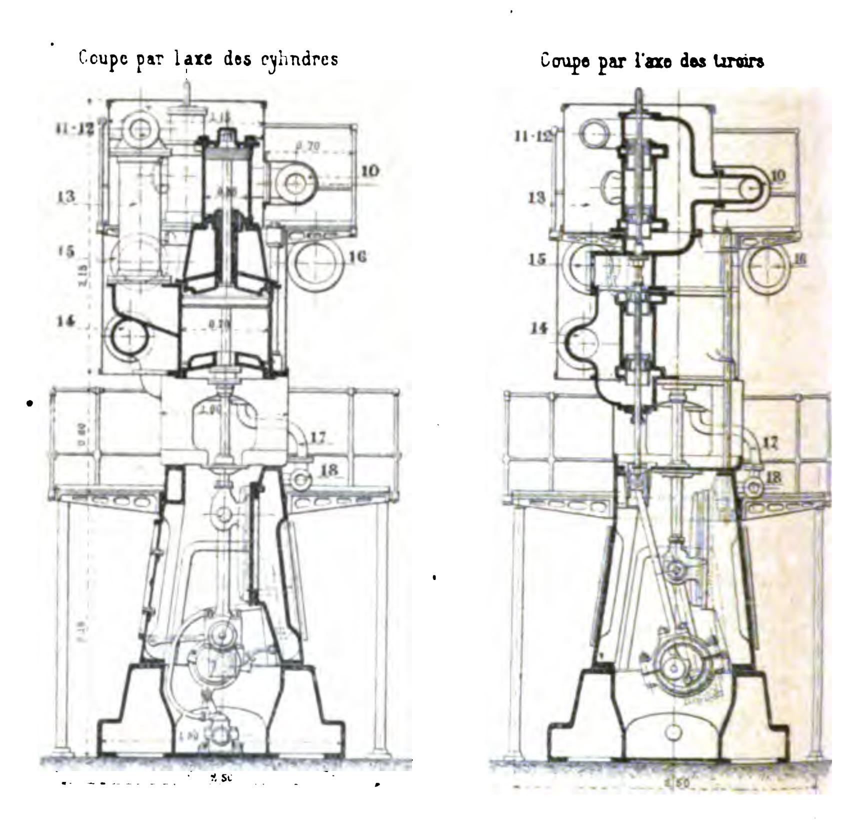
Son poids total est de 40 tonnes environ.

Chacune des lignes de cylindre en tandem est desservie par un groupe de tiroirs également en tandem. Les tiroirs de distribution sont cylindriques, avec passage de vapeur au centre. Ils sont conduits par des excentriques, calés sur l'arbre des manivelles.

L'échappement de vapeur se divise pour aller alternativement dans les cylindres extrêmes, n$^{os}$ 2 et 3, par le tuyau 10. Les échappements de vapeur des cylindres 2 et 3 sont conduits par les tuyaux 11 et 12 dans un réchauffeur par vapeur vive 13 et vont de là aux boîtes à tiroirs du cylindre n° 4 (*fig. 4*).

Les échappements de ce cylindre se font aux boites à tiroirs des cylindres à basse pression par le conduit 14. Enfin les échappements des deux cylindres à basse pression se font au condenseur par les tuyaux 15 et 16.

Fig. 4 - DELAUNAY BELLEVILLE - Coupes transversales




Des échappements complémentaires 17 sont établis dans les fonds des boites à tiroir à basse pression et communiquent au condenseur par un collecteur 18 qui sert en même temps aux purges des cylindres et à celles des boites à tiroir.

Ces dispositions d'introduction de la vapeur par les arêtes intérieures ont surtout pour but d'éviter que la haute température de la vapeur surchauffée n'atteigne les garnitures métalliques des tiges des tiroirs et aussi d'éviter tout bas-fond où l'eau pourrait séjourner.

Le graissage est continu et sous pression, l'usure des parties

en contact est supprimée par le fait de la présence dans le jeu de toutes les articulations d'une mince couche d'huile.

La circulation de l'huile sous pression est obtenue au moyen de deux pompes à huile, oscillantes, sans clapet, à piston plein, mues par des excentriques.

Cette machine est accouplée à un alternateur de 1 000 kilowatts sous 2 400 volts et son excitatrice construits par la Société « L'Éclairage Électrique ».

Le timbre des générateurs étant de 21 kg, la consommation de vapeur surchauffée à 300 degrés par cheval indiqué, à condensation, est évaluée par le constructeur à 4,600 kg, soit 7,5 kg par kilowatt-heure, en admettant un rendement de 96 0/0 pour l'alternateur. Le poids de l'alternateur et de l'excitatrice est de 24 t.

### Société Alsacienne de Constructions mécaniques, Belfort-Mulhouse (2, *Fig. 2*).

Ce moteur est du type horizontal compound tandem, avec distribution à piston-valves équilibrés.

La puissance normale de cette machine est de 1 000 ch effectifs correspondant à environ 1 140 ch indiqués sur pistons. Le cylindre à haute pression a un diamètre de 600 mm, le cylindre à basse pression un diamètre de 1 100 mm. La course commune est de 1 300 mm et la vitesse du moteur de 94 tours par minute.

L'encombrement est de 1,3 m × 3 m × 2 m.

Le poids est de 90 000 kg.

Le diamètre du tuyau d'arrivée, 175 mm.

Le diamètre du tuyau d'échappement, 350 mm.

Admission normale au petit cylindre, 24 à 25 0/0.

Détente totale, 14.

Dans cette machine, le cylindre à basse pression se trouve placé devant celui à haute pression, c'est-à-dire au milieu de la machine. Cette disposition a différents avantages :

Le cylindre le plus chaud est à l'arrière et peut ainsi se dilater librement sans agir sur le grand cylindre;

Le bâti n'est pas en contact avec le cylindre le plus chaud et ne peut pas subir d'influence nuisible ;

La conduite d'échappement entre le grand cylindre et le condenseur placé généralement sous le sol à l'avant dans ces machines, devient plus courte.

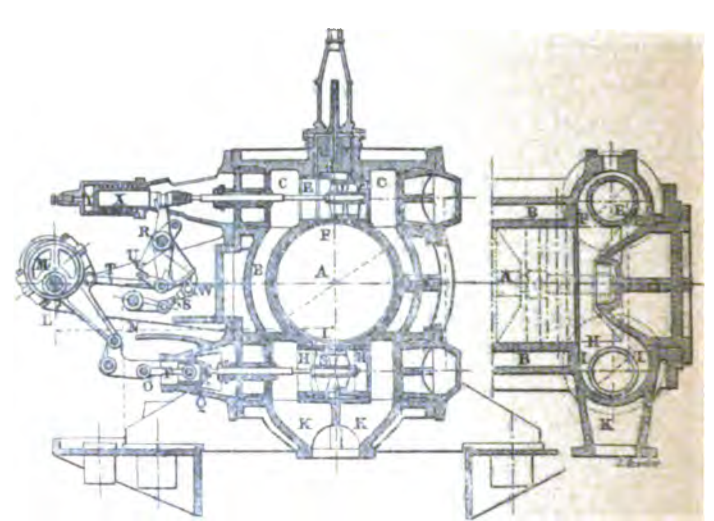
La distribution de vapeur se fait à chaque cylindre au moyen de quatre tiroirs circulaires équilibrés ou pistons-valves.

La distribution par soupapes est particulièrement appropriée. grâce à ses organes partiellement équilibrés, à l'emploi de hautes pressions et de hautes températures; elle se prête moins bien aux grandes vitesses, par suite des chocs que produisent les soupapes en retombant rapidement sur leurs sièges et du défaut d'étanchéité de ces organes qui en est la conséquence.

La distribution Corliss se prête bien aux grandes vitesses, principalement quand les obturateurs sont actionnés directement sans

Fig. 5 - Ste Alsacienne

Coupes longitudinale et transversale des pistons-valves



déclic, mais les fortes pressions ont une mauvaise influence sur les tiroirs non équilibrés, et la difficulté de graisser ces organes augmente encore avec la surchauffe.

L'emploi de pistons-valves a permis de réunir les avantages de ces deux systèmes, tout en écartant leurs inconvénients. Primitivement, on n'en employait que deux, de sorte que les mêmes orifices servaient d'entrée et de sortie de vapeur de chaque côté du cylindre. Ce système avait plusieurs inconvénients (condensations nuisibles de la vapeur fraiche contre les parois refroidies par la vapeur d'échappement du coup précédent, grands espaces nuisibles) et s'appropriait peu aux machines puissantes.

La nouvelle disposition consiste dans l'emploi des deux pistons-valves par cylindre pour l'admission et deux pour l'échappement (*fig. 5*). Ces pistons-valves sont placés horizontalement, perpendiculairement à l'axe du cylindre et tangentiellement à celui-ci, ce qui fait que les espaces nuisibles sont très réduits. Les deux tiroirs d'admission se trouvent dans le haut, ceux d'échappement dans le bas du cylindre. Ces tiroirs sont de construction identique aux pistons à vapeur, c'est-à-dire en trois parties avec segments interposés. Ils se meuvent dans des fourreaux E et H en fonte dure parfaitement alésés et rectifiés portant des ouvertures triangulaires. Ces fourreaux sont fixés dans les têtes de cylindre de façon qu'il ne puisse en résulter aucune déformation. Le jeu très minime donné entre le corps des tiroirs, leurs segments et le fourreau assure l'étanchéité parfaite de ces organes.

La vapeur pénètre par l'enveloppe B dans la boîte d'admission C en remplissant tout l'intérieur du tiroir D qui est ainsi complètement équilibré.

En découvrant à l'aller les orifices triangulaires ménagés sur tout le pourtour du fourreau, le tiroir permet à la vapeur d'entrer dans le cylindre jusqu'au moment où au retour il referme ces orifices. La même chose se passe à l'échappement.

Aux cylindres de plus petits diamètres les fourreaux n'ont qu'une seule rangée d'orifices, à ceux de plus grands diamètres il y a deux rangées; les pistons-valves sont alors doubles. Ils peuvent être multiples pour les très grandes dimensions de cylindres.

La commande de ces pistons-valves se fait par un arbre longitudinal L mû par roue d'angle depuis l'arbre moteur. Cet arbre porte à chaque extrémité du cylindre un excentrique qui commande, d'une part, par un petit levier d'équerre, le tiroir d'échappement et, d'autre part, le mouvement de déclic de l'admission.

La commande du tiroir d'échappement est combinée de telle sorte qu'à l'ouverture, il y ait une certaine accélération avec ouverture rapide, tandis que la fermeture subit un ralentissement et est retardée.

Le déclic de l'admission est mû d'une façon analogue; dans son mouvement, le prolongement du cliquet vers l'arrière vient buter sur galet dont la position varie avec celle du régulateur. La durée de l'enclenchement est ainsi plus ou moins longue et les admissions de vapeur au cylindre peuvent varier depuis 0 jusqu'à 60 0/0 de la course du piston.

Le rappel du tiroir marchant par déclic se fait par un dash-pot placé horizontalement sur l'avant du guide du tiroir.

Le cylindre à basse pression n'a pas de déclic à l'admission : la commande s'y fait par leviers comme pour l'échappement.

Le régulateur est disposé verticalement et commandé par une paire de roues à denture hélicoïdale, dont l'une est calée directement sur l'arbre de distribution. Il est du type de régulateurs à ressorts que l'on peut soumettre à une tension supplémentaire au moyen d'une balance permettant ainsi d'augmenter ou de diminuer la vitesse du moteur pendant la marche.

Les paliers moteurs ont une circulation d'huile au moyen d'une petite pompe spéciale puisant dans un réservoir-filtre et ramenant toujours la même huile dans les paliers.

### Bradley Manufacturing C°, Pittsburg *(3, fig. 2)*.

C'est une machine *Willans* verticale, à triple expansion, de 1 000 ch, à 277 tours, exposée par Bradley Manufacturing C°, de Pittsburg. Elle est accouplée directement à une dynamo Stanley de 600 kilowatts.

A côté, il y a un groupe électrogène composé d'une machine Willans Compound de 50 ch, à 470 tours et d'une dynamo de 30 kilowatts.

Les dimensions des cylindres de la première sont les suivantes :

337 mm pour le cylindre à haute pression;
635 mm — moyenne pression;
820 mm — basse pression;
La course est de 337 mm.

Pour la petite :

215 mm pour le cylindre à haute pression;
305 mm — basse pression;
La course est de 152 mm.

### Buffalo Forge C°, Buffalo *(4, fig. 2)*.

Cette Compagnie expose une machine horizontale Compound tandem accouplée à un alternateur Stanley de 132 kilowatts.

Le diamètre du cylindre à haute pression est de 330 mm.
— basse pression est de 560 mm.

La course est de 355 mm.

Le nombre de tours, 240.

La vitesse du piston, 168 mètres par minute.

La puissance en chevaux indiqués, 225; en chevaux effectifs, 192.
Le diamètre du tuyau d'admission, 127 mm.
— d'échappement, 230 mm.
La consommation de vapeur, avec 10 kg de pression, est, par cheval indiqué, de 8,4 kg à condensation et 10 kg à échappement libre.
A moitié charge, cette consommation s'élève à 11,8 kg; à quart de charge, elle s'élève à 12,7 kg.
La variation de vitesse de pleine charge est de 2 tours.
Le poids de la machine sans volant est de 9 600 kg..

### Skinner Engine C°, Erie *(5, fig. 2.)*

Ce moteur est du type horizontal monocylindrique avec distribution par tiroir plan, de forme circulaire.
La puissance normale est de 240 ch indiqués; les dimensions du cylindre sont : alésage 457 mm, course 457 mm.
La vitesse normale est de 212 tours par minute, correspondant à une vitesse du piston de 191 m par minute.
L'encombrement est de 4,35 m en longueur, 2,35 m en largeur et 1,20 m en hauteur.
Le poids est de 9 000 kg.
Le diamètre du tuyau d'arrivée de vapeur est de 152,3 mm.
Le diamètre du tuyau d'échappement est de 203,2 mm.
Le graissage est à circulation continue et s'effectue automatiquement.
La distribution se compose d'un anneau principal se déplaçant devant les lumières du cylindre; le tiroir est équilibré par un anneau dit « d'équilibrage » et l'étanchéité est assurée par plusieurs autres anneaux faisant office de garniture.
L'amplitude de mouvement du tiroir est commandée par un régulateur type à inertie placé sur le volant de la machine; la régulation est extrêmement sensible et, pour de fortes variations de charge, la vitesse ne varie que de 1/2 0/0 près.
L'arbre-manivelle est en une seule pièce, et construit en acier Martin forgé; la manivelle est munie, en outre, de contrepoids d'équilibrage, tendant à uniformiser le mouvement de rotation.
Les paliers principaux ont leurs coussinets en quatr epièces avec un large espace pour l'écoulement de l'huile. Le palier extérieur, qui travaille beaucoup moins que les précédents, est à graissage par bague.

Tous les coussinets sont garnis de métal anti-friction spécia
La perte en frottements absorbée par la machine roulant à vi-
est de 6.4 0/0 de la puissance normale indiquée.

Cette machine est directement accouplée à la génératrice Warren de 150 kilowatts.

Les figures 1, 2 et 3 (*Pl. 111*), représentent la coupe en plan d'un moteur compound, le tiroir et le régulateur.

Américan engine C°, Bound Brook. *(6, fig. 2.)*

C'est une machine horizontale compound de 200 ch à 230 tours accouplée à une dynamo à courant continu de 125 kilowatts.

Les deux cylindres superposés, le grand au-dessus du peti. sont desservis par deux tiroirs montés sur une tige unique et contenus dans la même boite à tiroirs (*fig. 4* et *5*, *Pl. 111*).

Les dimensions des cylindres sont 356 et 560 mm.

La course, 406 mm.

Le diamètre du tuyau d'admission, 126 mm ; celui d'échappement, 202 mm.

L'encombrement du groupe, 4 m × 3,2 m.

La consommation, avec 10,5 kg de pression, est de 10 kg par cheval-heure indiqué, à échappement libre, et 7,7 kg à condensation.

Variation de vitesse, de pleine charge à 1/2 à charge, 1 0/0.

Poids de la machine sans volant, 11 t.

Prix, 14 000 f.

Hooven, Owens, Rentschler, de Hamilton. *(7, fig. 2.)*

Le moteur à piston est du type vertical cross-compound avec distribution par pistons-valves équilibrés. La puissance normale est de 2 500 ch indiqués à la vitesse de 83 tours par minute. Il est accouplé avec un alternateur de 1 500 kilowatts, 6 000 volts, 25 périodes, de la National Electric C°.

Le cylindre à haute pression a un diamètre de 863,6 mm, le cylindre à basse pression un diamètre de 1 727, mm et la course commune est de 1 371,6 mm.

L'arbre, au volant et au rotor de l'alternateur, a un diamètre de 762 mm ; dans les paliers, le diamètre est de 635 mm et les paliers ont un diamètre de 635 mm et une portée de 1 067 mm. Le volant a un diamètre de 6,60 m; il est fait de 8 segments son poids est de 55 t. Le poids de l'ensemble est de 225 t.

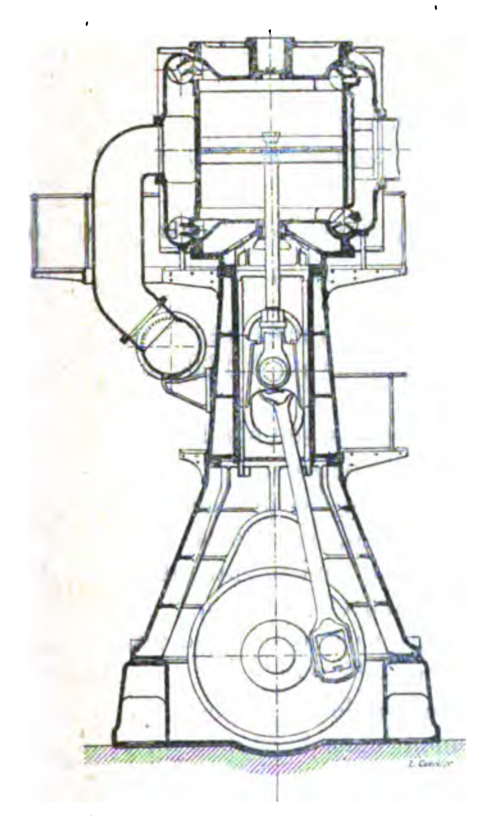
Les cylindres sont faits en acier au charbon de bois (acier de cémentation) à la dureté maximum compatible avec le travail sur la machine-outil. Les chambres d'échappement sont séparées des parois des cylindres par un espace d'air; de même le revêtement calorifuge est séparé des parois des cylindres par un espace d'air de 50 mm.

Les pistons sont en acier, avec couronne constituée par des segments appliqués étroitement contre les parois du cylindre au moyen de ressorts à boudins.

Fig. 6

HOOVEN OWENS RENTSCHLER

Coupe verticale



La bielle a cinq fois et demie la longueur de la manivelle ; le pied de bielle est en acier, avec glissières en fonte, revêtues d'une couche de métal antifriction.

La distribution est du type Corliss. Les valves d'admission et d'échappement pour chaque cylindre, sont commandées directement par un excentrique séparé, ce qui permet de faire varier indépendamment la détente.

Les dash-pots ont été spécialement étudiés pour les grandes vitesses et pour être silencieux.

Les valves sont à deux lumières, ce qui offre une plus grande section au passage de la vapeur et leur mouvement d'oscillation très court, ce qui diminue l'usure.

Le régulateur est du type ordinaire à boules; il est placé sur la plate-forme de la première galerie, c'est-à-dire aisément accessible. Les deux cylindres, haute et basse pression, sont éga-

lement sous le contrôle du régulateur, ce qui assure une bonne répartition de la charge entre les deux cylindres.

La détente est automatiquement variable de zéro jusqu'à un maximum égal aux 3/4 de la course du piston.

Pour la commande des alternateurs marchant en parallèle, il y a un dispositif dit « micrométrique », qui permet de faire varier la vitesse de la machine depuis le tableau de distribution, en agissant sur le régulateur.

Les consommations qui nous ont été indiquées sont les suivantes :

A 3 000 ch 5,5 kg par cheval indiqué et par heure ;
A 1 500 ch 6,6 kg — —
A 750 ch 8,6 kg — —
Le prix 210 000 f.
La figure 6 représente la section verticale ;
La figure 6 (*Pl. 111*) représente les détails de distribution.

### Hooven, Owens, Rentschler C° a Hamilton, Turbine a vapeur Hamilton-Holzwarth. (*B*, *fig.* 2).

La turbine « Hamilton-Holzwarth » exposée est du type horizontal et d'une puissance de 1 000 kilowatts à 1 500 tours (*fig.* 7, *Pl. 111*).

Elle est composée de deux turbines semblables montées sur le même arbre : la petite à haute pression, la grosse à basse pression, où se continue l'expansion et qui communique au condenseur. Cette disposition permet, dans le cas de marche à vapeur saturée, le réchauffage de la vapeur entre les deux turbines et, par conséquent, sa meilleure utilisation.

Chaque turbine est constituée par une série de disques mobiles tournant entre des couronnes d'aubes fixes.

La figure 7 représente les détails de la turbine.

La détente s'opère uniquement dans les aubes fixes, les disques mobiles utilisant seulement par impulsion l'énergie cinétique de la vapeur. C'est donc une turbine à action du genre de Laval-Breguet ou Rateau.

Cette turbine étant la première construite on ne possède aucune donnée de fonctionnement, ni de consommation pour pouvoir la comparer efficacement avec les types de turbines à vapeur déjà connus.

Le diamètre du tuyau d'arrivée est de 228 mm ;
— — d'échappement, 1 015 mm.

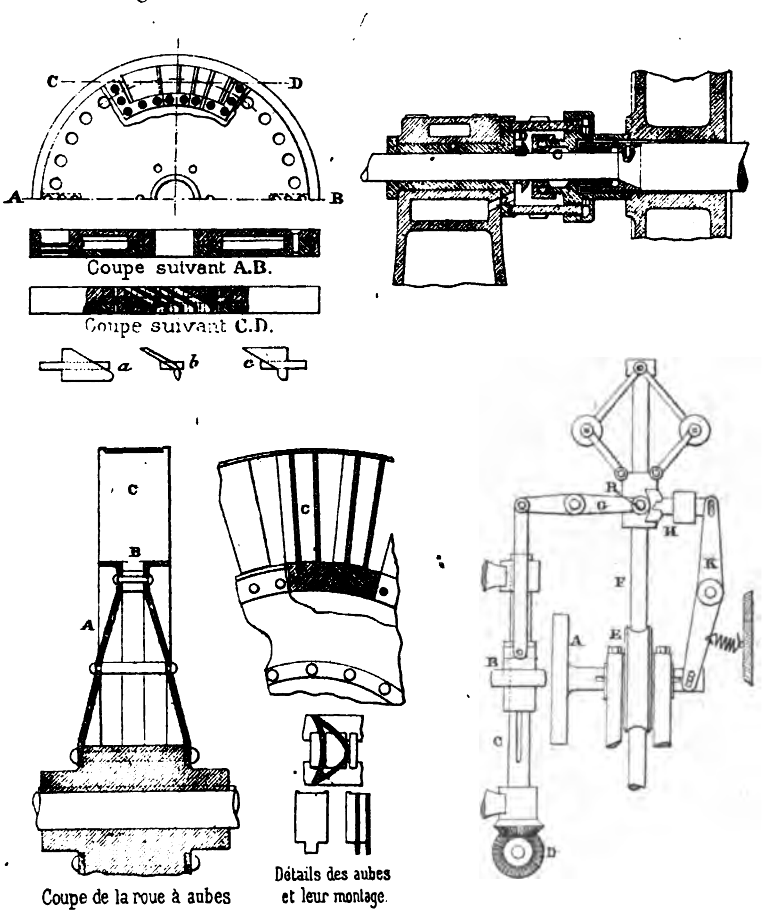
Ses dimensions sont les suivantes : longueur, 7,5 m ; largeur, 2,2 m.

Son poids, 39 t.

L'encombrement du groupe entier est : longueur, 12 m ; largeur, 2,7 m.

Poids total, 74 t.

Fig. 7 – HAMILTON-HOLZWARTH – Détails de la turbine




Dans la turbine Hamilton-Holzwarth, comme dans ses prédécesseurs de Laval-Breguet, Rateau, l'arbre ayant toujours un diamètre relativement faible, la section offerte aux fuites est restreinte.

La régulation se fait par papillon sur le tuyau d'arrivée de vapeur.

Ce réglage s'effectue de la façon suivante : la tige du papillon est conduite par roues d'angle au moyen d'un arbre sur patins à rouleaux, cet arbre porte une roue de friction susceptible de venir en contact avec un disque de friction tournant continuellement, un dispositif fait varier en accordance avec la vitesse de la turbine le point de contact de la roue de friction depuis le centre jusqu'à la périphérie du disque de friction, on obtient

Fig. 8 – Hamilton Holzwarth
Diagrammes des lignes de pression et de vitesse

de la sorte une régulation proportionnellement plus rapide pour les fortes variations de vitesse de la turbine que pour les faibles variations.

Le régulateur ferme complètement l'admission quand la vitesse angulaire dépasse de 2,5 0/0 la normale.

Un dispositif spécial permet de faire varier la vitesse de la turbine en marche pour la mise en parallèle des groupes électrogènes.

Les paliers sont hors des atteintes de la vapeur et, par conséquent, l'eau de condensation ne contient pas d'huile.

Les deux machines échappent au condenseur Stillwell Biene et Smith Vaile.

La figure 8 représente, suivant Holzwarth, le diagramme schématique des lignes de pressions et de vitesses dans cette turbine.

BUCKEYE ENGINE C°, DE SALEM. *(8, fig. 2.)*

La machine de cette Société est du type horizontal, cross-compound à condensation par condenseur à surface. La distribution, sur laquelle nous reviendrons plus loin, étant donné qu'elle constitue une caractéristique de ce moteur, se fait par tiroirs cylindriques.

La puissance normale de cette machine est de 1 400 ch indiqués, avec une vitesse de 100 tours par minute et de la vapeur à 8,75 kg. Elle est accouplée à une dynamo de 900 kilowatts sous 550 volts de Crocker-Wheeler. La pression à l'admission dans le cylindre à haute pression est de 8,61 kilogr. et à l'admission dans le cylindre à basse pression de 1,40 kilogr.

Le cylindre à haute pression a un diamètre de 673,1 mm, le cylindre à basse pression de 1 270 mm ; la course commune est de 1 200 mm ; les frottements totaux dans la machine en ordre de marche sont indiqués par le constructeur comme étant de 5 0/0.

Le diamètre du tuyau d'arrivée est de 254 mm.

Le diamètre du tuyau d'échappement de 457,2 mm.

Le poids total de la machine, sans son volant, est de 118 000 kilogr.

L'encombrement en hauteur au-dessus du sol de la salle des machines est de 3,627 m. L'encombrement en plan du massif de fondation sur ses plus grandes dimensions, est de 10,754 m de large sur 14,354 m de long.

La consommation de vapeur, à pleine charge et condensation, est donnée par le constructeur égale à 5,89 kg par cheval indiqué ; sous charge variable pouvant aller jusqu'à moitié de la pleine charge, la consommation de vapeur augmente de 20 0/0.

Les caractéristiques essentielles de ce moteur sont :

1° La distribution par tiroirs cylindriques équilibrés *(fig. 8, Pl. 111)* ;

2° La réduction au strict minimum des espaces morts ;

3° Le réchauffage de la vapeur entre l'échappement de la haute pression et l'admission de la basse pression ;

4° Le régulateur du type dit « à inertie » (*fig. 9, Pl. III*).

La distribution par tiroirs cylindres ne nécessite que deux lumières par cylindre, ce qui présenterait, d'après les constructeurs, l'avantage de diminuer l'espace mort dans la chambre d'admission de vapeur et par suite les condensations; le tiroir est équilibré, tout l'intérieur étant plein de vapeur.

Les constructeurs se sont également attachés à réduire le plus possible les espaces morts aux deux extrémités des cylindres, cet espace étant une source de perte par suite de la contre-pression qu'occasionne la détente de la vapeur qui y est emprisonnée quand le piston est au bout de sa course.

Le régulateur est du type déjà mentionné « inertia shaft governor ».

Pour de brusques variations de charge du moteur qui nous occupe, par exemple, de la pleine charge à la marche à vide, la variation de vitesse n'excède pas 2 0/0.

Le coût de la machine est de 100 000 f.

### Brown Corliss engine C° Corliss. (*9* et *10*, *fig. 2*).

Les deux machines Brown Corliss, de 750 ch à 135 tours, sont accouplées directement aux génératrices de 500 ch sous 550 volts, de Crocker-Wheeler, à courant continu.

Ce sont des machines verticales cross-compound.

Les cylindres ont 457 et 915 mm de diamètre.

La course est de 915.

Le tuyau d'arrivée a 178 mm de diamètre; celui d'échappement, 356.

L'encombrement total est de 5 m × 8 × 6 m.

La machine est susceptible d'une surcharge continue de 30 0/0 et momentanée de 75 0/0.

Elle est, pour le nombre de tours élevé, relativement silencieuse.

### Laidlaw Dunn Gordon C°, a Cincinnati (*11 et 12*, *fig. 2*).

Deux compresseurs à vapeur, semblables dans leurs détails et ne différant que comme puissance.

Les moteurs sont du type horizontal Cross-Compound à conden-

sation (par condensation centrale installée à l'Exposition). Entre les cylindres H. P. et B. P., il y a un receiver où la vapeur est réchauffée, de sorte qu'elle arrive sèche au cylindre B. P. Chaque cylindre à vapeur commande en tandem un cylindre compresseur, la compression de l'air s'effectuant ainsi en deux fois, ce qui permet de procéder à un refroidissement après la première compression.

La puissance normale de la plus grosse de ces machines est d'environ 170 ch indiqués quand elle fournit 37,356 m³ d'air par minute, sous la pression de 7 kg par centimètre carré, et à la vitesse de 125 tours par minute, correspondant à une vitesse de piston de 150 m par minute.

Les cylindres à vapeur ont respectivement un diamètre de 330,2 mm pour la haute pression, et de 609,6 mm pour la basse pression; les cylindres à air ont respectivement 558,8 m et 355,6 mm de diamètre; enfin la course commune est de 609,6 mm.

Les diamètres du tuyau d'admission de vapeur : 89 mm.
— d'échappement : 203 mm.
— d'aspiration d'air : 203 mm.
— de refoulement : 114 mm.

L'encombrement de l'ensemble complet est de 6,20 m de longueur, 3,45 m en largeur et 2,10 m en hauteur au-dessus du sol de la salle des machines.

Le poids, sans le volant, est approximativement de 20500 kg.

Le prix approximatif est de 28000 f.

Enfin la consommation de vapeur, à pleine charge et condensation, est de 7,7 kg de vapeur par ch indiqué et par heure.

Le groupe plus petit peut fournir 14,70 m³ d'air par minute sous la pression de 7 kg, à la vitesse de 120 tours par minute.

Les cylindres à vapeur ont respectivement : 330 mm pour la haute pression, 505 mm pour la basse pression.

Les cylindres à air ont respectivement 505 et 305 mm.

La course est de 305 mm.

Diamètre du tuyau d'admission de vapeur : 76 mm.
— d'échappement : 127 mm.
— d'aspiration d'air : 178 mm.
— de refoulement : 89 mm.

Les points qui ont été particulièrement étudiés dans cette machine sont les suivants :

La distribution du système Corliss est modifiée dans le but de satisfaire aux exigences d'un service d'air comprimé, lesquelles

diffèrent très sensiblement d'un service ordinaire (d'éclaira-
de transport ou autre). Dans le dernier cas, en effet, les variati-
de charge sont assez fréquentes, et susceptibles d'un grand cha-
gement de valeur; le travail d'un compresseur, au contraire,
toujours sensiblement constant et le mode de distribution d
être étudié, non plus dans la voie d'une grande sensibilité da
l'ajustement automatique de la détente, mais, au contrair
maintenir, quelles que soient les variations de pression de l'a
comprimé, la valeur de cette détente autour d'une valeur qu
été jugée la plus économique dans le cas considéré.

D'autre part, la distribution des cylindres à air a été égaleme
conçue dans le but d'atteindre le meilleur rendement possibl
les soupapes sont commandées mécaniquement au lieu de
commande usuelle par ressort, laquelle, par suite du temps rel
tivement long nécessaire pour la fermeture des soupapes, est un
source de pertes importantes que l'on a éliminée en adoptant
commande mécanique, qui provoque une ouverture ou fermetu
instantanée des soupapes.

Le régulateur est construit en accord avec le principe do
nous parlions plus haut; deux cas se présentent dans la pratiqu
ou bien l'on veut maintenir une vitesse constante du moteur e
dépit des fluctuations de pression de l'air comprimé utilisée, c
qui est le cas, par exemple, des machines soufflantes, compres-
seurs de gaz, etc.; ou bien, cas beaucoup plus général, on cherch
à maintenir constante la pression de l'air comprimé, quelles qu
soient les variations provoquées par l'utilisation irrégulière d
cet air comprimé.

Dans le premier cas, le régulateur est un appareil à boules ordi-
naire, agissant sur le mécanisme d'admission du cylindre à haut
pression; la détente automatique peut être portée, par ce moyen,
jusqu'à 80 0/0, ce qui est en pratique extrêmement économique.

Dans le second cas, on adapte sur le régulateur à boules ordi-
naire un mécanisme par lequel les variations de vitesse sont sous
le contrôle des variations de pression, jusqu'à une certaine limite
au delà de laquelle le système centrifuge ordinaire l'emporte et
contrôle à son tour l'admission de vapeur jusqu'à 80 0/0 de la
course.

Les cylindres sont en fer très dur et d'une épaisseur suffisante
pour permettre plusieurs réalésages successifs.

L'arbre est d'une seule pièce en acier forgé; le diamètre aux
paliers principaux est de 178 mm.

ALLIS CHALMERS, CHICAGO (*13*, *fig. 2*).

Ce moteur est du type compound à condensation, a un cylindre horizontal haute pression et un cylindre vertical basse pression ; le but de ce dispositif est de diminuer l'encombrement en projection ; cet encombrement mesuré sur le bâti commun aux deux cylindres, est de 5,10 m en longueur et 3,45 m en largeur. La longueur totale de la machine tout compris est de 11,70 m, sa hauteur totale de 11,75 m (*fig. 10*, *Pl. 111*).

La puissance normale de ce moteur est de 5 000 ch indiqués avec la condensation et peut être portée, en surcharge, à 8 000 ch. La vitesse, de 75 tours par minute ; la pression de vapeur, de 10,5 kg par centimètre carré.

Le cylindre horizontal à haute pression a un diamètre de 1 117,6 mm ; le cylindre vertical à basse pression, 2 387,6 mm ; la course commune est de 1 524 mm.

Les tiges de piston sont en acier Martin, de 22,8 cm de diamètre pour la haute pression, et de 25,4 cm pour la basse pression ; les pistons sont en acier fondu, avec couronne de piston en fonte.

L'arbre creux est en acier Martin forgé : diamètre au rotor de l'alternateur, 94 cm ; diamètre dans le palier principal, 81,3 cm ; diamètre dans le palier extérieur, 76,2 cm ; diamètre intérieur uniforme, 40,6 cm. Le palier principal a 81,3 cm de diamètre et 152,4 cm de portée ; le palier extérieur a 76,2 cm de diamètre et 122 cm de portée ; tous deux sont à billes. Le volant a 7,50 m de diamètre, la largeur de jante est de 76,2 cm et l'épaisseur de 83,8 cm ; ce volant, construit en dix segments, pèse 136 t.

La distribution est du type usuel Allis-Reynolds ; les valves des deux cylindres sont construites pour permettre une grande détente, automatique d'après le régulateur, lequel contrôle à la fois la haute et la basse pression. Les valves d'admission des cylindres HP et BP sont commandées par un même excentrique et les valves d'échappement par un autre excentrique commun.

La valve d'admission haute pression a 355,6 mm de diamètre ; la section de la lumière d'admission est de 9,675 cm² ; celle de la lumière d'échappement de 13,287 cm² ; le tuyau d'échappement de vapeur a 40,6 cm de diamètre.

La valve d'admission au cylindre de basse pression a 76,2 cm de diamètre ; la section de la lumière d'admission est de 45,924 cm² ; celle de la lumière d'échappement de 59,985 cm² ; enfin le tuyau

d'échappement allant au condenseur a un diamètre de 91,44 cm; sur ce tuyau d'échappement est intercalé, avant le condenseur. un séparateur d'huile; le condenseur est un condenseur barométrique type Alberger.

Le poids total de la machine est de 730 t; le poids de la partie tournante : volant, arbre, manivelle et inducteur tournant de l'alternateur, est de 233 t.

La caractéristique essentielle de cette machine est la disposition du cylindre à haute pression horizontal et du cylindre à basse pression vertical, ce qui diminue l'encombrement.

Un by-pass de 50 mm permet de diriger directement la vapeur à haute pression dans le cylindre B. P., sans passer par le cylindre H. P. Ce dispositif permet un démarrage aisé au cas où la machine s'arrêterait sur un point mort. En supposant, en effet, la bielle du cylindre H. P. au point mort, la bielle B. P. se trouve à angle droit par rapport à celle-ci, et il suffira d'ouvrir le by-pass et d'admettre directement un peu de vapeur dans le cylindre B. P., pour mettre le moteur en route.

Le mouvement d'amplitude du régulateur commande à la fois la détente dans les deux cylindres B. P. et H. P., mais un mécanisme à main permet de faire varier la détente B. P., indépendamment de la H. P.; en outre, il est également possible de faire varier le rapport de détente entre les deux cylindres au moyen d'un autre mécanisme placé sur le levier transmettant le moument du régulateur à la came de détente du cylindre B. P. Par ce moyen, doublement effectif, on peut maintenir à l'admission du cylindre B. P. la pression convenable, quelles que soient les conditions de charge sous lesquelles fonctionne le moteur.

La vitesse de la machine peut, d'autre part, être à volonté accrue ou diminuée de quelques tours; ceci s'obtient au moyen d'un contrepoids monté sur l'arbre du régulateur; si l'on écarte ce contrepoids dans un sens ou dans l'autre de sa position normale, qui est neutre, cela revient à élever ou abaisser le centre de gravité du régulateur, et à modifier par suite le régime de marche de la machine.

Signalons enfin que ce moteur, qui actionne à l'Exposition de Saint-Louis un alternateur triphasé Bullock, de 3 500 kilowatts. 6 600 volts, 25 périodes, est muni d'un synchroniseur électrique qui permet d'introduire en toute sécurité l'alternateur dans le circuit, et ensuite de maintenir la vitesse constante afin d'éviter les courants entre alternateurs en parallèle, courants pouvant

amener la destruction de l'alternateur, si la vitesse est trop irrégulière.

La maison Allis-Chalmers vient de s'associer avec un syndicat anglais des turbines, dont fait partie M. Fullagar, ancien Ingénieur en chef de la Parsons Steam Turbine C°, de Newcastle-on-Tyne, pour entreprendre la construction des turbines horizontales, genre Parsons.

La vapeur d'échappement de la machine Allis Chalamers se rend dans un *condenseur barométrique Alberger (25, fig. 2)*.

Cet appareil peut condenser 34 000 kg de vapeur à l'heure et serait susceptible de donner un vide de 68 cm de mercure avec 25 l d'eau à 25 degrés par kilogramme de vapeur.

Le tuyau de jonction a 910 mm de diamètre.

La pompe à eau et la pompe à air sont commandées par une Corliss verticale de 380 mm de diamètre de cylindre et 455 mm de course. Le diamètre du tuyau d'admission de vapeur est de 126 mm, celui d'échappement 178 mm. Les tuyaux d'air ont 200 mm de diamètre. Les tuyaux d'eau ont 455 mm à l'aspiration et 405 mm au refoulement.

Le condenseur est muni d'une vanne mue électriquement et dirigeant, dans le cas d'un accident, l'échappement à l'air libre.

Le poids total de cet appareil est d'environ 40 t.

Murray Iron works C°, de Barlington *(14, fig. 2)*.

Cette machine a été spécialement établie pour la commande des trains de laminoir. Elle actionnait, à l'Exposition, une génératrice à courant continu de 500 kilowatts, sous 550 volts, de Crocker Wheeler.

Ce moteur est du type horizontal, à un seul cylindre, et condensation; la puissance normale est de 750 ch effectifs à la vitesse de 100 tours par minute, et en employant de la vapeur à 10,5 kg par centimètre carré. L'alésage du cylindre est de 660 mm et la course 1 220 mm; la distribution est du système Corliss, à valves semi-rotatives, offrant un double passage à la vapeur; un excentrique spécial commande séparément les valves d'admission et les valves d'échappement.

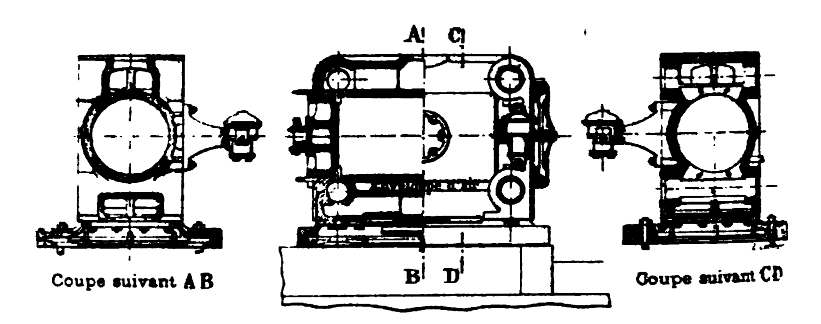
Le cylindre présente un dispositif tout spécial; la chambre des valves d'échappement est séparée du cylindre proprementdit par un large espace d'air *(fig. 9)*, dont le but est de supprimer les pertes de chaleur résultant du fait que les parois ducylindre

et celles de la chambre d'échappement sont à des températures différentes ; l'épaisseur du cylindre est suffisante pour permettre, en cas de nécessité, deux réalésages successifs.

Le diamètre du tuyau d'arrivée de vapeur est de 203 mm.

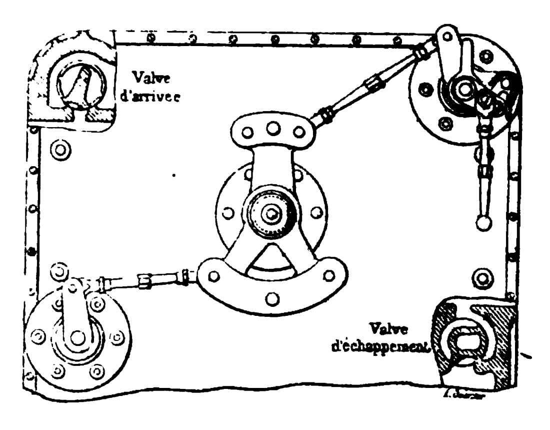
Le diamètre du tuyau d'échappement est de 254 mm.

Fig. 9 - MURRAY - Coupes du cylindre




Les valves de distribution sont du système Corliss, offrant un double passage à la vapeur et évitant ainsi le laminage de vapeur ; la forme des valves d'échappement a été tout spécialement étudiée, d'une part, pour offrir un large passage à la vapeur aussi

Fig. 10 - MURRAY - Distribution



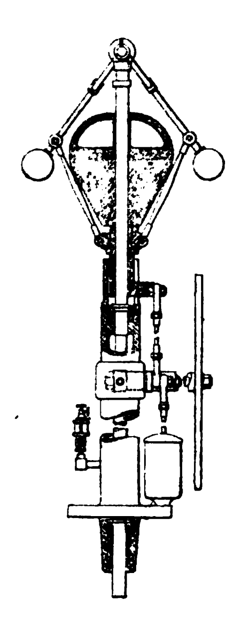

rapidement que possible, et d'autre part, quand la valve est fermée, d'avoir un centre de gravité plus bas que son centre de figure, de façon que, par son propre poids, elle ajoute encore à l'étanchéité du joint (*fig. 10*).

Les dash-pots sont fixés sur le cylindre lui-même aussi près que possible de la valve, ce qui présente à la fois un minimum d'encombrement et évite les longues tiges de dash-pot. Enfin, pour éviter les déperditions de chaleur, le cylindre est garni d'une épaisse couche de magnésie, et est latté en bois avec cornières en acier poli aux angles.

Le piston est pressé hydrauliquement sur la tige, et de plus arrêté par un écrou à serrage spécial permettant de le noyer dans la masse du piston, de telle façon que l'espace mort laissé ordinairement à l'extrémité du cylindre, soit réduit à un minimum négligeable.

L'arbre est en acier forgé, il a un diamètre de 0,50 m dans sa plus grande largeur, et de 0,38 m dans les paliers; le palier principal a une portée de 0,865 m et le palier extérieur 0,76 m.

Fig. 11
MURRAY-Régulateur



Le volant a 4,80 m de diamètre et pèse 28 000 kg; il est coulé en deux moitiés, réunies ensemble par des boulons appropriés; le moyeu est claveté sur l'arbre et retenu, d'autre part, par quatre boulons de 0,10 m de diamètre et 1,10 m de longueur.

La régulation est assurée par deux régulateurs séparés, tous deux centrifuges, à boules et montés sur roulement à billes. Le régulateur principal comporte un moyen de réglage spécial *(fig. 11)*; à la partie supérieure du contrepoids est ménagée une cavité que l'on peut remplir plus ou moins de grains de plomb, de façon à faire varier le poids dans la proportion voulue et régler la vitesse à une fraction de tour près; il va sans dire que ce réglage ne peut se faire qu'au repos. La commande des régulateurs se fait par chaîne, au lieu de la courroie habituellement employée.

Le petit régulateur est un régulateur auxiliaire de sécurité en cas de non-fonctionnement du régulateur principal, et si la vitesse dépassait une valeur déterminée, ce régulateur ferme l'admission de vapeur, en déclenchant un contrepoids commandant une vanne sur la conduite d'arrivée de vapeur.

Harrisburg Foundry and Machine works, Harrisburg (*15, fig. 2*).

*Machine Fleming.* — Ce moteur est de type horizontal tandem compound à condensation avec distribution par pistons-valves. La puissance normale est de 600 ch indiqués, 560 effectifs avec une vitesse de 150 tours par minute, une pression de vapeur saturée de 10,5 kg cm², et un vide au condenseur de 0,66 m de mercure. Il est directement accouplé à une génératrice de 400 kilowatts, sous 550 volts de Crocker Wheeler (*fig. 12*).

Le cylindre à haute pression a un diamètre de 0,381 m et le cylindre à basse pression un diamètre de 1,0287 m. On remarquera la grande différence de ces deux diamètres; ce rapport est de 7,33 entre les sections respectives des deux cylindres. La course commune est de 0,66 m.

L'encombrement est de 12,15 m en longueur, 7,05 m en largeur, et 2,43 m au-dessus du sol de la salle des machines. Ces chiffres représentent l'encombrement maximum.

Le poids du moteur sans volant est de 52 000 kg.

Le diamètre du tuyau d'arrivée de vapeur est de 20,32 cm; celui du tuyau d'échappement de 35,56 cm.

La consommation de vapeur, à pleine charge et 66 cm de vide est de 5,89 kg de vapeur par cheval indiqué (anglais). A moitié charge, cette consommation s'élève à 6,568 kg et à quart de charge de 7,135 kg. Cette consommation n'augmenterait donc que fort peu pour les faibles charges.

La distribution est à pistons-valves (*fig. 13*); les valves d'admission du cylindre H. P. sont dans des fourreaux en fonte et la commande se fait par un excentrique spécial; un second excentrique contrôle les valves d'admission du cylindre B. P.; la détente de celui-ci est ajustable à la main, mais seulement quand la machine est au repos; enfin, un troisième excentrique commande les valves d'échappement des deux cylindres.

Le piston à basse pression a une couronne en bronze phosphoreux; le diamètre de la tige de piston H. P. est de 68 mm, et celle du cylindre B. P. de 120 mm du côté de la manivelle et 68 mm du côté opposé.

Dans cette machine, le cylindre à basse pression se trouve placé devant le cylindre H. P., ce qui présente les avantages connus.

La caractéristique essentielle est le réchauffage de la vapeur

Plan

Excentrique d'échapp^t

Excentrique d'admission

BP

Excentrique d'admission

HP

5 515

1,065

0,837

1,269

2,870

3,031

0,889

0,406

1,270

0,803

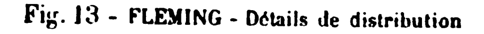
2,080

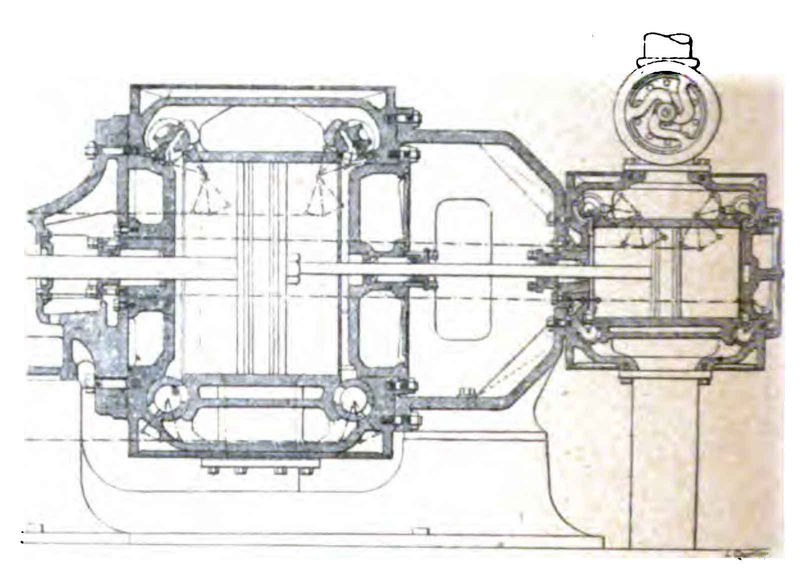
3,500

0,883

Élévation

d'échappement du cylindre H. P. avant son admission dans le cylindre B. P. ; le réchauffeur est simplement un appareil verti-

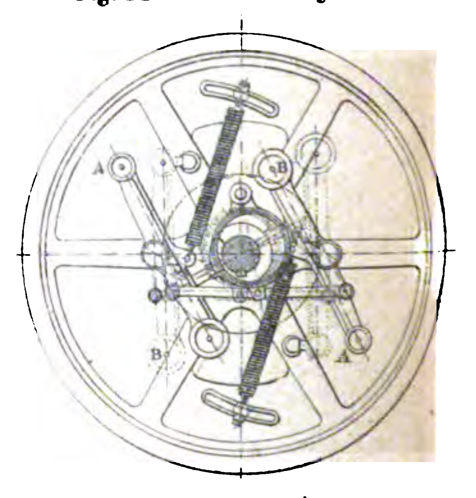

Fig. 13 - FLEMING - Détails de distribution



cal tubulaire, présentant une surface de chauffe de 23,225 m², et rempli de vapeur à la pression de la chaudière.

Un autre point caractéristique est la vitesse de rotation relativement élevée (150 tours) qui facilite, dans certains cas, l'accouplement direct avec certains appareils à vitesse élevée, dynamos ou alternateurs par exemple ; cette vitesse est rendue possible par l'emploi de valves à lumière triple donnant une grande section de passage à la vapeur.

Fig. 14 - FLEMING - Régulateur




Le régulateur est du type spécial dit « régulateur à inertie » *(fig. 14)*. Cet appareil, monté sur le volant, con-

siste en deux contrepoids (de façon à donner un ensemble équilibré et indépendant de l'action de la pesanteur) commandant un collier d'excentrique, dont la position, par rapport à l'arbre — variant suivant la vitesse du volant et l'effet d'inertie qui en résulte par conséquent par les contrepoids — fait varier l'amplitude de la course de l'excentrique. Les contrepoids sont montés sur paliers à rouleaux, et la sensibilité de ce régulateur est telle que le constructeur garantit une variation de vitesse de 0,5 0/0 seulement, lorsque la charge passe brusquement de la marche à vide à 25 0/0 de surcharge.

LANE AND BODLEY C°, A CINCINNATI *(16, fig. 2).*

*Machine « XX^e siècle ».* — Ce moteur est du type horizontal Cross-Compound à condensation, avec distribution Corliss accouplée à une dynamo de 600 kilowatts, 550 volts de Crocker Wheeler.

La puissance normale de cette machine est de 900 ch. Le cylindre à haute pression a un diamètre de 508 mm ; le cylindre à basse pression un diamètre 1 016 mm, la course commune étant 1 371,6 mm ; la vitesse, 85 tours par minute.

L'encombrement est de 9,55 m en longueur, 6,55 m en largeur et 3,60 m en hauteur au-dessus du sol de la salle des machines, le point maximum d'élévation étant atteint par la jante du volant.

Le poids du volant est de 27 180 kg, le poids total de la machine est de 99 000 kg. Le prix 65 000 f.

Le diamètre du tuyau d'arrivée de vapeur est de 152,4 mm.

La diamètre du tuyau d'échappement est de 406,4 mm.

Consommation, 6,5 kg par cheval indiqué.

Les caractéristiques essentielles de cette machine sont les suivantes :

Les cylindres sont en fer de grande dureté ; ils sont recouverts de tôle d'acier avec cornières polies aux angles, l'espace entre le cylindre et la tôle étant rempli avec de la laine minérale, matière calorifuge ; de même les chambres d'échappement sont séparées de la masse du cylindre, et l'espace libre garni avec cette substance mauvaise conductrice.

Les points que l'on a cherché à satisfaire dans la construction de ces cylindres sont :

Grand volume de vapeur dans les chambres d'admission sup-

primant les laminages de vapeur. Les sièges des valves, et la forme des valves elles-mêmes sont tels que l'étanchéité soit assurée par le propre poids de la valve reposant sur son siège. Les valves sont placées le plus près possible du cylindre pour réduire le plus possible les espaces morts. Épaisseur suffisante pour permettre le réalésage. Section offerte au passage de la vapeur aussi grande que possible.

Les pistons sont à ressorts, c'est-à-dire automatiquement ajustables. Les tiges sont en acier Martin d'un diamètre de 94 mm pour la haute pression et 120 mm pour la basse pression.

Un excentrique séparé commande pour chaque cylindre, les deux valves d'admission et les deux valves d'échappement: la détente automatique sur le cylindre à haute pression peut varier, sous le contrôle du régulateur depuis zéro jusqu'aux trois quarts de la course; en outre, un mécanisme de contrôle à main permet de faire varier volontairement de plusieurs tours la vitesse normale de la machine.

Le régulateur est du type centrifuge ordinaire; l'axe de ce régulateur, tournant à grande vitesse (192 tours) permet l'emploi de boules de petite dimension, ce qui assure une plus grande sensibilité de régulation qu'avec les régulateurs à marche lente et grosses boules. La commande se fait par courroie.

Un second régulateur de secours entre en action au cas où la vitesse dépasserait les limites de sécurité; le contrôle s'exerce de la façon suivante : dès que la vitesse excède la limite prévue, le régulateur admet de la vapeur dans un petit cylindre commandant une vanne de secours placée sur la conduite d'arrivée.

Le palier du côté H. P. a un diamètre de 455 mm et une portée de 559 mm; le palier, du côté B. P., a un diamètre de 455 mm et une portée de 762 mm.

L'arbre est en acier Martin forgé, il est plein, et son diamètre maximum atteint 560 mm. Le volant a un diamètre de 5,40 m et pèse 27 000 kg; sa largeur de jante est de 432 mm.

Il est coulé en deux moitiés assemblées par des boulons en T de forme et de résistance appropriées.

Enfin, la vanne d'admission, placée sur la conduite d'arrivée de vapeur, est à ouverture ou fermeture rapide : un demi-tour de volant suffit pour l'ouvrir ou la fermer complètement; les deux cylindres sont en outre munis de purgeurs automatiques expurgeant l'eau condensée ou entraînée, et d'un by-pass pour le réchauffage avant la mise en marche.

Les machines de la Harrisburg Foundry (600 ch), Murray (750 ch), et Lane et Bodley (900 ch), échappent dans un condenseur Alberger par surface *(26, fig. 2)*.

La surface refroidissante est de 495 m².

Le condenseur est horizontal.

La pompe à air est entraînée par la tige de piston d'une Corliss de 208 mm de diamètre de cylindre et 610 mm de course.

Le diamètre du tuyau d'entrée 63 mm, celui de l'échappement 76 mm.

Le diamètre du cylindre à air 455 mm.

La pompe de circulation est commandée par un moteur vertical de 305 mm de diamètre de cylindre et d'autant de course.

Le diamètre du tuyau d'arrivée a 50 mm, celui de l'échappement 63.

Les tuyaux d'aspiration et de refoulement ont 355 mm.

L'appareil est muni d'une valve automatique pouvant diriger l'échappement à air libre.

### I. et E. Greenwald, de Cincinnati *(17, fig. 2)*.

C'est une machine horizontale cross-compound de 600 ch à 100 tours accouplée à une dynamo de Fort Wague Electric C° de 400 kilowatts, 250 volts courant continu.

La distribution se fait par tiroirs plans, disposés verticalement avec dashpot. Les tiroirs sont à trois ouvertures.

Les dimensions des cylindres sont de 456 et 915 mm.

La course 1 070 mm.

Le tuyau d'admission est de 126 mm de diamètre, celui d'échappement 356 mm.

L'arbre qui porte la géneratrice et le volant de 5,4 m a 48 mm.

Les fondations ont 9 m × 7 m et 2,5 m de profondeur.

La condensation se fait dans le condenseur Wheeler.

### General Electric C°, de Schenectady.

*Turbine à vapeur Curtis (A, fig. 22).*

La turbine Curtis est une turbine axiale, d'action, à un ou plusieurs étages, suivant la puissance. Toutes les machines d'une puissance supérieure à 25 kilowatts sont à deux ou plusieurs étages.

Chaque étage (*fig. 15*) se compose d'une série de tuyères de détente A, et de plusieurs jeux d'aubes alternativement mobiles BB′ et fixes CC′.

La vapeur se détend dans les tuyères A, totalement ou partiellement, suivant que la turbine est à un ou plusieurs étages.

Au sortir des tuyères, la vapeur détendue est envoyée dans les aubes B de la première roue mobile, puis traverse les aubes directrices fixes C qui la renvoient dans une deuxième roue mobile B′.

Fig. 15 - Turbine Curtis à deux détentes



Suivant les cas, la vapeur se rend alors soit dans les tuyères A de l'étage suivant, soit au condenseur.

Un arbre vertical (*fig. 16*) supporte les roues à aubes D, D¹, D², D³, de la turbine et la partie tournante de la dynamo. Cet arbre repose dans une crapaudine placée dans le socle et est maintenu par trois paliers HHH. Il porte, à sa partie supérieure, le régulateur à force centrifuge J.

Les paliers et la crapaudine sont complètement à l'extérieur de l'enveloppe de la turbine et n'ont aucun contact avec la vapeur.

L'enveloppe de la turbine supporte les aubes directrices C, C¹, C², C³.

Les tuyères du premier étage A sont fixées sur le couvercle supérieur E de la turbine, les tuyères A¹, A², A³, des étages suivants sont montées dans des diaphragmes E¹, E², E³, qui séparent d'une manière étanche les différents étages.

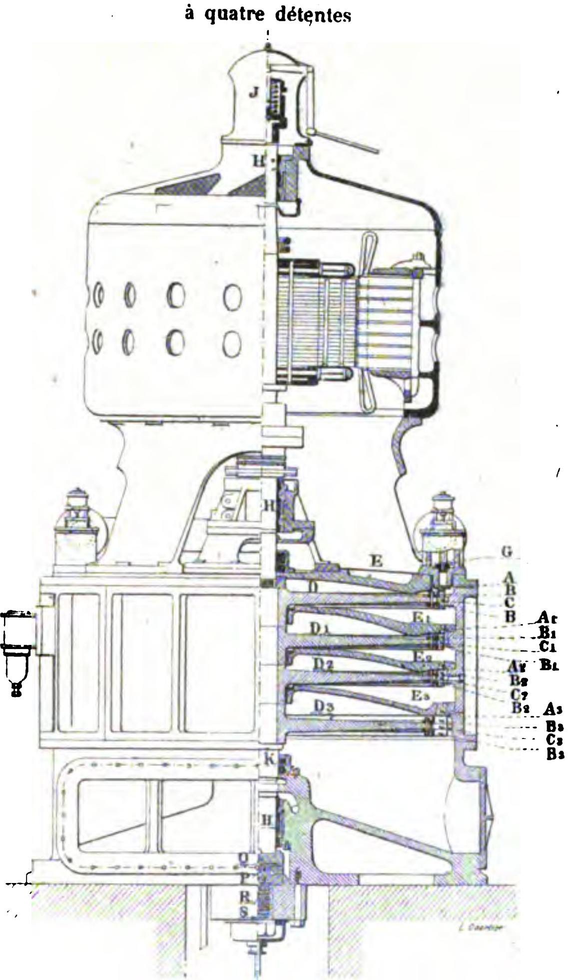
L'étanchéité entre l'arbre et le couvercle supérieur de la turbine est obtenue au moyen de bagues en graphite KK serties dans des cercles en bronze. Ces bagues sont appliquées par la tension de la vapeur et par un ressort.

Les roues à aubes sont constituées par des disques en acier forgé clavetés sur l'arbre. Les aubes sont taillées dans la jante même de ces disques à l'aide de machines-outils spéciales qui permettent de leur donner rigoureusement la forme déterminée

par le calcul. Pour les grosses unités, les aubes sont taillées dans des segments rapportés ensuite sur les roues.

Comme les aubes mobiles, les aubes directrices sont taillées à l'outil dans des segments circulaires rapportés sur des supports fixés sur le corps de la turbine.

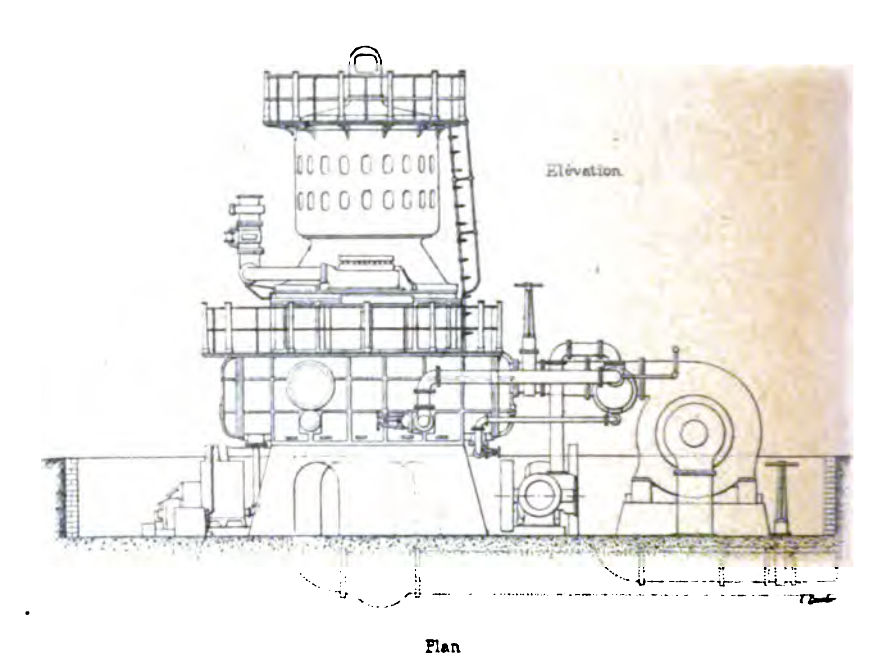
Fig. 16 - Coupe de la Turbine Curtis à quatre détentes




La crapaudine est constituée par deux plaques P, Q (*fig. 16*). L'une, P, fixe, est garnie de gaïac, l'autre, Q, tourne avec l'arbre. La plaque P est rendue solidaire du socle de la turbine par l'intermédiaire du support R et d'une vis de réglage S.

**Fig. 17 - GENERAL ELECTRIC C°**

**Plan d'installation de la Turbine Curtis**




Plan

De l'eau est envoyée entre les plaques P et Q à une pression suffisante pour équilibrer le poids de toute la partie tournante.

La circulation d'eau dans la crapaudine, ainsi que dans le palier inférieur, est assurée par une pompe à eau spéciale, généralement à vapeur, à action directe. Une pompe à huile indépendante assure une circulation de l'huile dans les deux paliers supérieurs.

L'admission de la vapeur se fait par une série de tuyères. Chaque tuyère est surmontée d'une soupape G, et chaque soupape est commandée individuellement par le régulateur à force centrifuge en bout d'arbre. Pour éviter d'avoir à demander au régulateur une puissance trop grande pour la commande de ces soupapes, on le fait agir, suivant le cas, par l'intermédiaire d'un servo-moteur électrique ou hydraulique.

Un réglage commandé par un petit moteur électrique permet, en outre, de faire varier légèrement la vitesse de régime maintenue par le régulateur pour obtenir la synchronisation dans le cas de la marche en parallèle de plusieurs unités.

En plus du régulateur normal, un appareil de sûreté non visible sur les figures actionne un déclic qui arrête la turbine dès que pour une raison quelconque la vitesse de rotation dépasse de 15 0/0 la vitesse de régime. Ce déclic coupe l'arrivée de vapeur et, en même temps, met le dernier étage de la turbine en communication avec l'atmosphère pour empêcher la turbine de continuer à tourner sous l'action du vide et des fuites possibles.

La machine de l'Exposition *(fig. 17)* était de 2000 kilowatts (25 périodes 6600 volts).

Le poids est approximativement de 72000 kg.

La vitesse est de 750 tours par minute.

Le condenseur se trouve dans le socle. C'est un condenseur par surface de 558 m² de surface de refroidissement.

Les appareils auxiliaires sont une pompe à air de 50 ch, une pompe à eau chaude de 7,5 ch, une pompe centrifuge de circulation de 125 ch.

L'excitatrice consiste en une turbine-dynamo bipolaire de 25 kilowatts 125 volts à 3600 tours par minute.

Les figures 18 et 19 représentent les diagrammes des lignes de pressions et de vitesses dans les turbines Curtiss, telles qu'elles étaient construites au début et telles qu'elles sont faites actuellement.

Fig. 18

Diagramme des lignes de pressions et de vitesse dans la TURBINE CURTIS originale

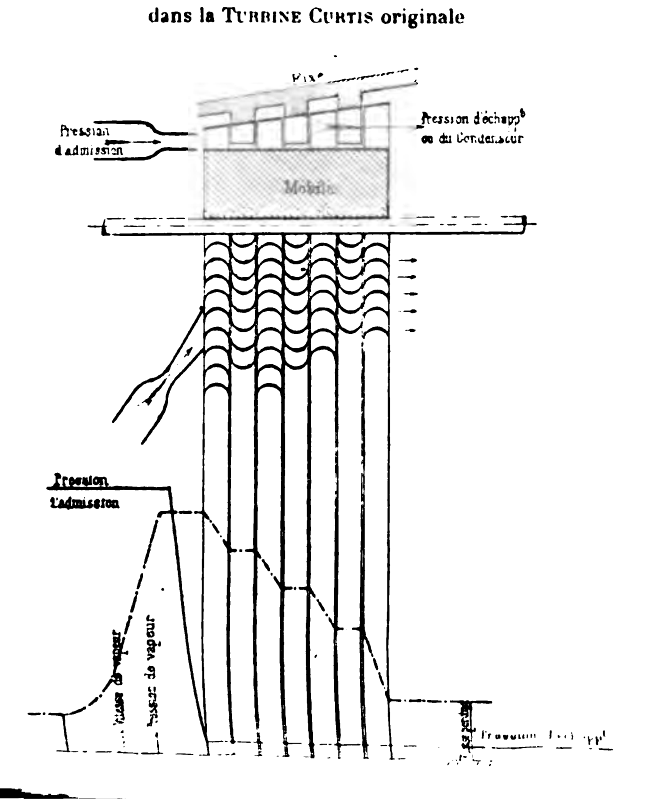
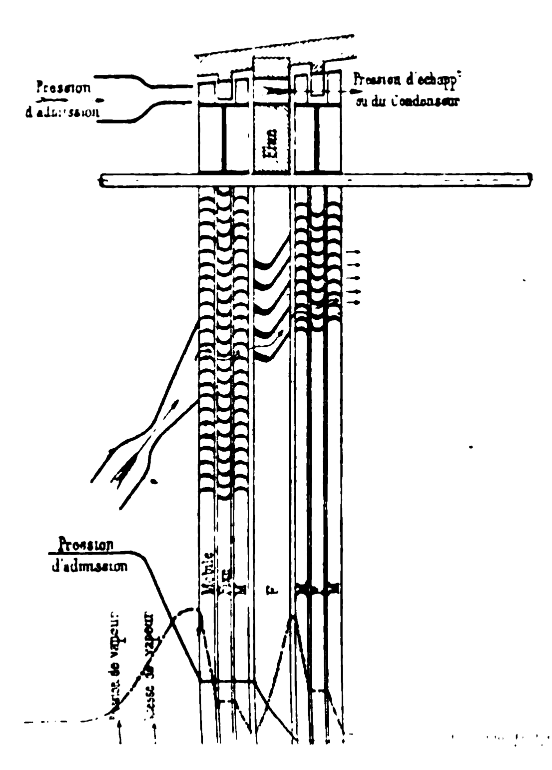



Fig. 19

Diagramme des lignes de pressions et de vitesse dans la TURBINE CURTIS perfectionnée



WESTINGHOUSE MACHINE C°, EAST PITTSBURG *(18 à 21, fig. 2)*.

Les quatre machines *Westinghouse-Corliss* sont exactement semblables dans tous leurs détails et connectées directement à quatre alternateurs triphasés de 2 000 kilowatts sous 6 600 volts.

Chaque moteur est du type vertical cross-compound à condensation, avec distribution Corliss, à pistons-valves; la puissance normale est de 3 200 chevaux indiqués. Le cylindre à haute pression a un diamètre de 965,2 mm, et le cylindre à basse pression un diamètre de 1 930,4 mm le rapport des sections des deux cylindres étant par conséquent de 1 comme à 4. La vitesse de rotation est de 83,3 tours par minute et la vitesse linéaire du piston 225 m par minute; la course commune est de 1 422,4 mm.

L'encombrement de la machine (y compris l'alternateur placé à côté du volant, entre les deux bâtis) est de 10,525 m en longueur, 4,55 m en largeur et 9,40 m en hauteur, au-dessus du sol de la salle des machines.

Le diamètre du tuyau d'arrivée est de 304,8 mm. Le diamètre du tuyau d'échappement de 711,2 mm. La pression de vapeur à l'admission (on employait de la vapeur saturée sèche, mais sans surchauffe) est de 10,5 kg par cm$^2$ ; on ne donne pas la pression à l'admission au cylindre basse pression, mais on dit que cette pression varie selon la charge; de même pour la détente totale qui est mentionnée comme dépendant de l'admission et, par suite, de la charge.

L'admission normale au petit cylindre pour la pleine charge est coupée aux 3/8 de la course ; cette admission peut être portée automatiquement par le régulateur, ou à la main, aux 3/4 de la course, ce qui donne à la machine une très large capacité de surcharge. En fait, la machine peut supporter, pendant une courte période, une charge de 5 000 ch indiqués.

Outre l'inducteur tournant de l'alternateur, qui fait volant, la machine est munie d'un volant de 6,60 m de diamètre pesant 86 160 kg. Le poids sans volant est de 240 t et le poids total de 326 t.

L'arbre qui a près de 90 cm de diamètre dans sa partie centrale, où il supporte le volant et le rotor de l'alternateur, est en acier Martin, comprimé à la presse hydraulique pendant son état pâteux, forgé et ensuite foré.

Les coussinets et les glissières sur lesquelles frottent les pieds de bielle sont refroidis par une circulation d'eau froide.

Les paliers, au lieu de coussinets cylindriques ordinaires, sont à coussinets sphériques, faisant fonction de paliers à billes et chauffent très peu, les frottements étant très faibles; en outre, lesdits paliers sont « self-aligning » c'est-à-dire s'alignent d'eux-mêmes d'après l'arbre qui peut avoir une faible section due à la charge concentrée au milieu.

La distribution est du type classique Corliss, sans aucune modification spéciale; chaque piston-valve offre un double passage à la vapeur.

La vitesse du groupe électrogène est contrôlée par un régulateur centrifuge à boules, clos, à lubrification automatique dont le mécanisme est réglable en marche et permet, par suite, de faire varier à volonté le nombre de tours. Le contrôle automatique de la détente par le régulateur s'opère par le même mécanisme sur les valves d'admission des deux cylindres H. P. et B. P., et partage ainsi les variations de charge également entre eux.

Dans le cas de marche indépendante du groupe, le régulateur contrôle la vitesse à 2 0/0 près pour les plus fortes variations de charge; lorsqu'il s'agit de marche en parallèle avec d'autres unités également accouplées à des alternateurs, la variation de vitesse peut atteindre 6 0/0 afin de faciliter la mise en synchronisme. Dans le but d'intercaler une nouvelle unité dans le circuit, un petit moteur est disposé auprès du régulateur et peut être commandé depuis le tableau de distribution. Ce moteur déplace un contrepoids sur le mécanisme du régulateur et réalise ainsi la variation de vitesse désirée. L'électricien, de son tableau, peut donc procéder à la mise en parallèle de la nouvelle unité en toute sécurité.

Enfin, un dispositif spécial, limitateur de vitesse, coupe totalement l'admission de vapeur à haute pression dès que la vitesse, par suite de circonstances imprévues, telles que la rupture d'une pièce du mécanisme régulateur, tend à dépasser la limite de sécurité; ce même mécanisme d'arrêt peut être opéré volontairement soit du tableau, soit d'un point déterminé de la salle des machines.

La consommation de vapeur est garantie par le constructeur comme ne dépassant pas, dans la pratique courante, 6,115 kg de vapeur saturée, à 10,5 kg par cheval-heure indiqué, et en marchant avec condensation.

Le condenseur employé est un condenseur barométrique à jet. Il y a deux équipements complets, chacun pour 7 000 ch.

Dans le cas de perte de vide, une vanne de secours automatique ouvre l'échappement à l'air libre.

Les eaux chaudes de condensation sont renvoyées aux réfrigérants à ventilateurs.

L'installation de la Compagnie Westinghouse comprend :

1° Quatre groupes électrogènes (*fig. 11, Pl. 111*);

2° Trois groupes d'excitation, génératrices de 80 kilowatts, 6 pôles, 125 volts, directement accouplées aux machines compound Westinghouse à condensation, à 300 tours par minute. Dimensions des cylindres : H. P., 320 mm; B. P., 508 mm; course, 320 mm;

3° Tableau de distribution : 29 panneaux, interrupteurs et disjoncteurs à huile;

4° Condenseurs barométriques : condenseur à jet, système Worthington, de 1015 mm, recevant l'eau d'injection par un tuyau de 762 mm, relié aux pompes de circulation. Le trop-plein d'eau chaude retourne aux pompes de circulation dans des tuyaux en bois; les principales soupapes sont commandées par moteurs électriques;

5° Pompes à air sec : 1 pompe Worthington verticale, type rotatif; dimensions du cylindre à vapeur, 225 mm; 320 mm de course; cylindre à air, 407 × 320 mm. 2 autres pompes Worthington horizontales, type rotatif; dimensions du cylindre à vapeur, 254 mm × 457 mm; cylindre à air, 560 mm × 457 mm;

6° Chaudières : 16 chaudières à tubes d'eau, système Babcock et Wilcox; puissance normale, 400 ch chacune;

7° Foyers mécaniques, système Roney (*fig. 12, Pl. 111*) : 2 grilles mécaniques à chaque batterie reçoivent le charbon des trémies placées à la partie supérieure et remplies au moyen d'un convoyeur; les cendres sont enlevées et remontées avec un élévateur;

8° Machines des grilles mécaniques : au nombre de 4, système Westinghouse, complètement closes, lubréfaction automatique; chaque machine commande les grilles de 2 batteries de chaudières adjacentes;

9° Tirage forcé : 2 installations complètes comprenant 4 ventilateurs par paire, aux trois quarts enfermés; le tirage se fait par aspiration; les ventilateurs sont commandés par les machines

Chandler et Taylor, la roue du ventilateur étant calée directement sur l'arbre de la machine;

10° Pompes centrifuges de circulation : au nombre de 3, du système Worthington à commande directe; capacité de chacune. 64 345 l par minute; hauteur d'élévation, 15 m;

11° Machines des pompes : 3 machines Westinghouse compound; cylindre : H. P., 457 mm; B. P., 760 mm; course, 407 mm. Régulateur disposé de façon à pouvoir faire varier la vitesse suivant le débit de la pompe;

12° Machine des ventilateurs des tours de refroidissement, système Westinghouse, compound; cylindre : H. P., 457 mm; B. P., 760 mm; course, 407 mm. Commandant le ventilateur par une courroie système Graton et Knigth;

13° Tuyauterie de vapeur avec drainage automatique de l'eau condensée;

14° Réchauffeur d'eau d'alimentation, système Cochrane, reçoit la vapeur d'échappement de toutes les machines auxiliaires;

15° Pompes alimentaires : 1 Worthington verticale; dimensions du cylindre à vapeur, 356 mm × 457 mm; du cylindre à eau, 254 mm × 457 mm. 2 Worthington horizontales compound duplex; dimensions des cylindres à vapeur : H. P., 228 mm; B. P., 406 mm; course, 380 mm; diamètre des pistons plongeurs 190 mm; course, 380 mm;

16° Tours de refroidissement à ventilation (*fig. 13, Pl. 111*). Chaque tour constitue une cheminée rectangulaire en briques de 16 m de haut, garnie intérieurement de dix rangs de grillages en bois. Sections effectives de chaque tour, 43 m²; chacune d'elles est équipée avec 4 ventilateurs à disque Seymour, de 320 cm de diamètre. Un système automatique remplace l'eau évaporée, qui est fournie par les conduites de la ville.

### Westinghouse Machine C°, East Pittsburg.

La *Turbine à vapeur, système Westinghouse-Parsons* exposée (*C fig. 2*) avait une puissance indiquée de 600 ch et commandait directement un alternateur de 400 kilowatts, à la vitesse de 3 600 t par minute (*fig. 14, Pl. 111*).

L'encombrement de cette machine, y compris celui de l'alternateur directement accouplé et monté sur le même bâti que la turbine, est de 5,55 m de long, sur 1,35 m de large et 2,25 m de haut.

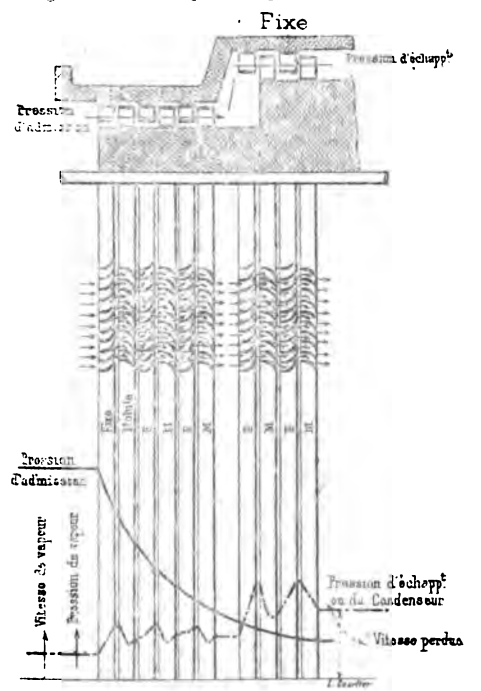
Dans la turbine Parsons, la détente commencée dans les distributeurs fixes se continue dans les aubes du disque mobile, la pression diminuant uniformément depuis l'admission jusqu'au condenseur, à la fois dans les aubes fixes et mobiles.

L'énergie mécanique est communiquée au système tournant de la façon suivante :

L'aube reçoit tout d'abord une impulsion, utilisant l'énergie cinétique développée dans la détente du distributeur fixe précédent, puis, lorsque cette impulsion est épuisée, la détente se poursuit à l'intérieur même de l'aube, la vitesse de la vapeur qui s'était abaissée durant l'impulsion, s'accroît à nouveau pour atteindre son maximum au moment où elle quitte l'aubage, et détermine ainsi une réaction dont l'effet s'ajoute à celui de l'impulsion.

Cette réaction produit une poussée longitudinale sur le système mobile de la turbine, poussée qu'il est nécessaire de compenser par certain nombre de pistons d'équilibrage.

Fig. 20 - Westinghouse-Parsons
Diagrammes des lignes de pression et de vitesse




Le graissage s'opère sous pression de 200 à 300 g.

Lorsqu'on désire faire face à une surcharge d'une certaine durée, on admet, au moyen d'un by-pass, de la vapeur à haute pression sur la seconde série des aubes fixes et mobiles ; en augmentant la pression à cette période de la détente, on augmente par conséquent la puissance développée. L'intérêt de ce système est que l'ouverture de ce by-pass et la quantité de vapeur supplémentaire qu'il admet sont contrôlés automatiquement par

le régulateur qui proportionne ainsi la puissance de la machine à la surcharge demandée et l'empêche de caler.

Il va sans dire que l'on ne saurait dépasser une certaine valeur du débit sans compromettre la sécurité de la turbine et de l'alternateur; au delà d'un certain degré déterminé de surcharge le régulateur, au lieu d'ouvrir le by-pass, ferme automatiquement l'admission de vapeur et détermine ainsi l'arrêt de la turbine. Enfin, le régulateur est muni d'un dispositif permettant de faire varier la vitesse en marche, ce qui facilite considérablement le fonctionnement de plusieurs turbo-alternateurs en parallèle.

La figure 20 représente les diagrammes des lignes de pressions et de vitesses dans cette turbine.

A. L. Ide and Sons, de Sprikgfield. Machine « Idéal » (22, *fig.* 2).

Ce moteur est du type horizontal, tandem compound, avec distributions par tiroir cylindrique dans le cylindre à haute pression et par tiroir-plan dans le cylindre à basse pression.

La puissance normale de cette machine est de 300 ch indiqués corespondant à 285 ch effectifs. Le cylindre à haute pression a un diamètre de 330 mm et le cylindre à basse pression un diamètre de 660 mm, la course commune étant de 457,2 mm.

La vitesse normale est de 200 tours par minute, correspondant à une vitesse de piston de 180 m par minute.

Le diamètre du tuyau d'arrivée de vapeur est de 177,8 mm.

Le diamètre du tuyau d'échappement est de 228,6 mm.

La détente totale est de 15 expansions.

La consommation de vapeur avec de la vapeur à 10,5 kg et un vide au condenseur de 66 cm de mercure, est de 8,154 kg de vapeur sèche par cheval indiqué et par heure.

La variation de vitesse est réglée à 1 1/2 0/0 près; le nombre de tours à vide est de 205 tours, pour 200 à pleine charge.

L'encombrement de la machine est de 5,130 m en longueur, 2,387 m en largeur et 2,337 m en hauteur au-dessus du sol de la salle des machines.

Le poids, sans le volant, est de 15 800 kg.

Le prix de cette machine est de 23 000 f.

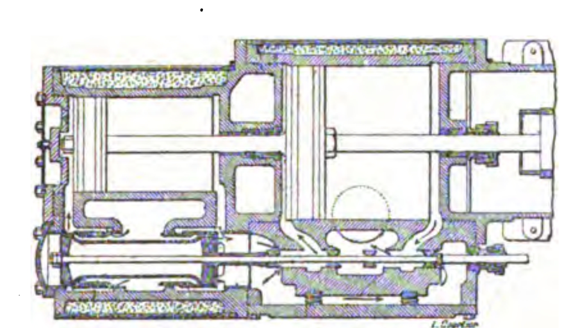
Les caractéristiques essentielles de ce type de moteur sont les suivantes :

Cylindre à basse pression placé devant le cylindre à haute pression et faisant hermétiquement corps avec celui-ci.

Le tiroir à haute pression est de forme cylindrique ; le tiroir à basse pression est plan, la plus grande largeur étant suivant l'horizontale *(fig. 21)*; les deux tiroirs sont montés l'un à côté de l'autre, sur la même tige, à laquelle l'excentrique communique le mouvement de va-et-vient.

Le tiroir cylindrique est construit de telle sorte que l'on puisse augmenter son diamètre, c'est-à-dire rattraper le jeu produit par

**Fig. 21 - IDE - Détails de distribution**



l'usure et éviter les fuites de vapeur. L'arbre est constitué par deux moitiés symétriques terminées à l'une de leurs extrémités par un plateau ; les deux plateaux sont réunis au moyen d'un axe de manivelle en acier spécial extra-dur. Chacune des moitiés symétriques est constituée par une âme en acier extra-dur, autour de laquelle on vient couler, d'une seule pièce, une enveloppe augmentant le diamètre et le plateau, lequel fait ainsi corps avec l'arbre. Les constructeurs ont appelé ce mode de construction le « demi-acier », l'âme étant en acier autour duquel vient faire prise le métal coulé ultérieurement.

Le graissage s'opère comme suit *(fig. 15, Pl. 111)*: la manivelle, la bielle et la tige du piston sont enfermées dans une enveloppe hermétique contenant à sa partie inférieure une certaine quantité d'huile de graissage : à chaque tour, la tête de bielle venant frapper le bain d'huile, provoque un jaillissement qui assure le graissage de la tête et du pied de bielle, des glissières, etc.

Grâce à cette disposition, les pertes en frottements dans la machine ne seraient que de 2,50 0/0 de la puissance indiquée, alors que dans la plupart des machines ordinaires ce coefficient varie de 5 à 12 0/0.

La dépense d'huile est indiquée être de 80 l par an pour une machine de 150 ch.

Le régulateur est du type à inertie *(fig. 16, Pl. 111)*, très en faveur en Amérique, surtout pour les machines à grande vitesse; il est placé sur le volant et gouverne le collier de l'excentrique donnant le mouvement aux tiroirs; ce mode de régulation est des plus sensibles.

La vanne placée sur l'arrivée de vapeur peut être fermée en déplaçant simplement de 90 degrés le levier de commande, c'est-à-dire instantanément, cette même vanne est munie d'un petit by-pass permettant d'admettre un peu de vapeur dans le cylindre, afin d'effectuer un réchauffage efficace avant la mise en route.

De même le cylindre est muni de purgeurs automatiques prévenant les accidents dangereux pouvant résulter d'entraînements d'eau dans le cylindre.

### Jeanesville Iron Works C°, de Hazleton *(23, fig. 2)*.

Ce moteur commandait en tandem une pompe de mine, capable d'élever par minute 4 542 l, à une hauteur de 210 m, et alimentait, à l'Exposition, la roue hydraulique d'Abner Doble C°.

L'ensemble du moteur est constitué par deux machines jumelles, horizontales, tandem, à triple expansion, et distribution par valves semi-rotatives genre Corliss. La condensation s'effectue au moyen d'un condenseur à jet, spécialement étudié par la Compagnie Jeanesville pour employer les eaux de mines; lorsque celles-ci sont acides ou corrosives, les parties en contact avec ces eaux sont protégées par un revêtement en bronze phosphoreux spécial résistant aux acides. La machine de l'Exposition, cependant, employait un condenseur à surface.

La puissance normale de cette machine est de 240 ch indiqués, correspondant à 210 ch effectifs environ. Le cylindre à haute pression a un diamètre de 280 mm; le cylindre intermédiaire, un diamètre de 432 mm, et le cylindre à basse pression, un diamètre de 762 mm, la course commune étant de 900 mm.

Le nombre de coups de piston par minute (correspondant au nombre de tours dans les machines ordinaires) est de 25, ce qui donne une vitesse de piston de 45 m par minute.

L'encombrement de l'ensemble, y compris les corps de pompe (sans le condenseur), est de 8,878 m en longueur, 2,980 m en

largeur, et 3,10 m en hauteur, le point le plus haut étant atteint par les ressorts régulateurs de la pompe et les réservoirs d'air.

Le diamètre du tuyau d'arrivée est de 76,2 mm.

Le diamètre du tuyau d'échappement, de 203,2 mm.

La détente totale est de neuf expansions. L'admission normale au petit cylindre n'est pas indiquée, mais ce petit cylindre est muni d'une détente variable, pouvant au maximum couper l'admission aux cinq huitièmes de la course; la détente peut être ajustée à la main, soit au repos, soit pendant le fonctionnement de la pompe.

La consommation de vapeur, à la pression de 10,2 kg par centimètre carré, sans surchauffe, est indiquée par le constructeur, la pompe fonctionnant à charge normale, comme atteignant 8,600 kg par cheval indiqué, et 9,966 kg par cheval effectif.

Au point de vue disposition, cette pompe est constituée par deux petites machines jumelles, commandant chacune un corps de pompe; le but de ce dédoublement est de régulariser le plus possible le débit d'eau refoulée dans la colonne d'exhaure, et éviter ainsi l'emploi de réservoirs d'air ou de régulateurs de dimensions anormales.

Le diamètre du corps de pompe est de 25,4 cm, et les quatre cylindres (vapeur et eau) sont placés en tandem par ordre de dimension décroissante, le cylindre du corps de pompe étant à l'une des extrémités, et le cylindre à vapeur à basse pression à l'extrémité opposée.

Dans la machine exposée, le cylindre intermédiaire et le cylindre à basse pression étaient tous deux à chemises de vapeur; le constructeur établit également des réchauffeurs tubulaires qu'il intercale entre l'échappement d'un des cylindres et l'admission du cylindre suivant. De la vapeur vive, venant de la chaudière, est fournie au premier réchauffeur; de là, elle passe dans le second, puis dans les chemises des cylindres, et enfin sert finalement à actionner la pompe à vide du condenseur.

Le graissage se fait sous haute pression, au moyen d'un graisseur-pompe commandé mécaniquement par la machine elle-même; par ce moyen, la lubrification ne s'accomplit que lorsque la machine est en marche, et cette distribution automatique permet d'économiser notablement sur l'huile dépensée pour le graissage.

L'épaisseur des cylindres est prévue pour permettre plusieurs réalésages, en cas d'ovalisation.

### Abner Doble Cº, de San Francisco *(24, fig. 2)*.

Nous décrivons ce groupe hydroélectrogène comme ayant participé à la production de l'énergie électrique. La pompe à haute pression de Jeanesville alimente la roue hydraulique tangentielle d'Abner Doble, à laquelle elle fournit 4500 l sous 210 m de pression *(fig. 17 et 18, Pl. 111)*.

Cette roue est à aubes ellipsoïdales et tuyères de réglage à aiguilles, et développe une puissance de 170 ch, à 700 tours par minute.

Elle est accouplée à une dynamo Crocker Wheeler de 100 kilowatts, à courant continu sous 550 volts, et fournit du courant au réseau du tramway intramural.

La vitesse et le débit du groupe hydroélectrogène sont réglés par un ajutage à cône central, commandé directement par un régulateur hydraulique.

A faibles charges, le surplus de l'eau fournie par la pompe s'échappe à travers un by-pass muni d'une soupape de décharge.

Les récents essais de l'Institut Technologique de Massachussets ont donné, pour la roue, un rendement de 85 0/0 à pleine charge, 83 0/0 à 1,25, et 75 0/0 à 0,50 de charge.

Des dispositions ont été prises, à l'Exposition, pour relever, pendant toute la durée du fonctionnement, les diagrammes indiquant le rendement.

Un compteur enregistreur Venturi, avec manomètre, mesure la quantité d'eau fournie à la roue hydraulique, et un manomètre enregistre la pression de l'eau, y compris les pertes de charge dans les tuyères et les raccords.

Le rendement global du groupe hydroélectrogène est de 74 à 78 0/0.

### Société de Laval, Paris.

Cette exposition comprenait trois ensembles :

1 turbine-dynamo de 3 kilowatts, à 3000 tours *(fig. 19, Pl. 111)*;

1 turbine-ventilateur, composée d'une turbine de 5 ch, et d'un ventilateur pouvant débiter 3600 m³ d'air à l'heure, sous 250 mm de pression d'eau, à 3000 tours *(fig. 20, Pl. 111)*;

1 turbine-pompe à haute pression, pouvant élever 1000 l d'eau par minute à 150 m *(fig. 21, Pl. 111)*. Le moteur est une turbine de Laval, d'une cinquantaine de chevaux à 20000 tours par minute.

Sur l'arbre de cette turbine se trouve montée la pompe centrifuge à haute pression pouvant, à cette vitesse de 20 000 tours, élever en un seul jet 1 000 l par minute à 150 m de hauteur.

La pompe auxiliaire, qui est montée à côté, sur le même bâti, est une pompe à basse pression, qui n'a pour but que de fournir à la pompe à haute pression la quantité d'eau que celle-ci serait incapable d'aspirer elle-même, étant données les dimensions de ses ouvertures.

Cette pompe auxiliaire peut, d'ailleurs, alimenter subsidiairement un condenseur à jet, qui exige de l'eau sous pression de 5 à 6 m.

La turbine de Laval a figuré aux États-Unis, pour la première fois, à l'Exposition de Chicago, en 1893.

Elle se compose d'une roue à aubes, sur laquelle la vapeur, complètement détendue, est amenée par un ou plusieurs ajutages, dont l'axe est faiblement incliné sur le plan de la roue.

Les jets de vapeur pénètrent dans le récepteur en glissant le long des aubes en vertu de la vitesse relative, et en leur communiquant la force vive de la vapeur. Cette vapeur sort sur la face opposée du disque, avec une vitesse absolue qu'on cherche à rendre le plus faible possible par un tracé approprié des aubes.

Le corps de la turbine est monté sur un axe en acier qui repose sur deux coussinets à ses extrémités, et tout l'ensemble tourne dans une chambre dont une partie vient de fonte, avec un conduit de distribution de la vapeur, et porte les ajutages en bronze destinés à détendre et à diriger le jet de vapeur, tandis que l'autre forme conduit d'échappement et comprend le palier de bout d'arbre.

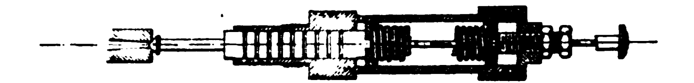
Sur l'arbre principal est placé le pignon en acier, à double denture hélicoïdale, s'engrenant avec une roue dentée qui réduit la vitesse de la turbine dans le rapport voulu.

Le principe fondamental de cette turbine est que la vapeur à haute pression arrive entièrement détendue sur les aubes de la roue réceptrice. Cette détente s'effectue dans le trajet de la valve d'introduction à l'orifice du tube distributeur de vapeur. Dans ce trajet, elle a acquis une force vive, due à sa propre détente, qui est précisément égale au travail qu'elle aurait fourni en se détendant graduellement derrière un piston.

En fait de perfectionnements apportés à la turbine de Laval, dont les uns, tout en augmentant la solidité de sa construction, rendent son fonctionnement plus sûr et régulier, en même temps

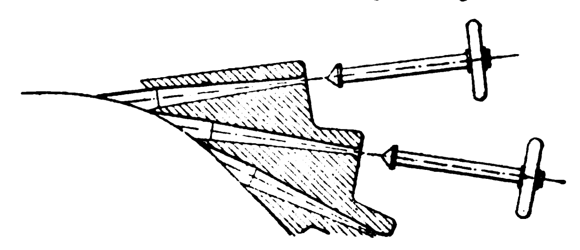
qu'ils facilitent sa conduite et sa surveillance, et dont les autres améliorent son rendement, on peut signaler :

Fig. 22
Turbine de Laval - Ajutage automatique



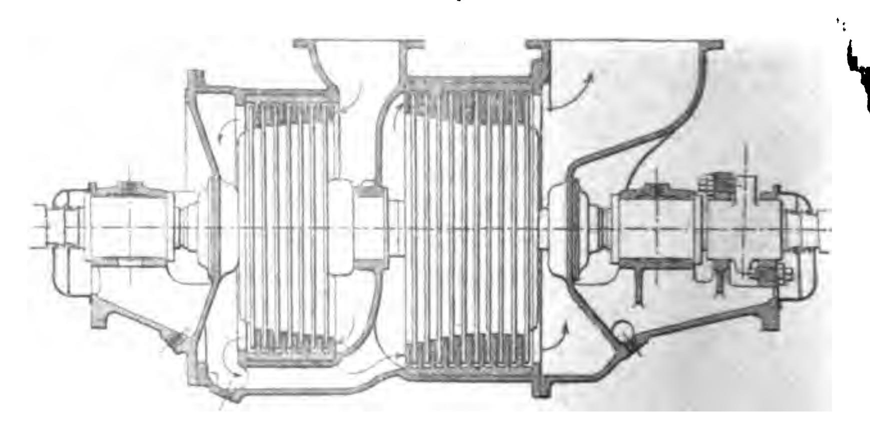
Ajutages automatiquement réglables : des pistons autorégulateurs agissent, par le fait de la vapeur, sur la fermeture ou l'ouverture des ajutages, et permettent, grâce aux variations de la

Fig. 23
Turbine de Laval - Ajutages contigus



pression dans la boite à vapeur, de maintenir la pression sensiblement constante, quelle que soit la puissance demandée à la turbine *(fig. 22)*.

Fig. 24 - Turbine de Laval-Breguet
Coupe



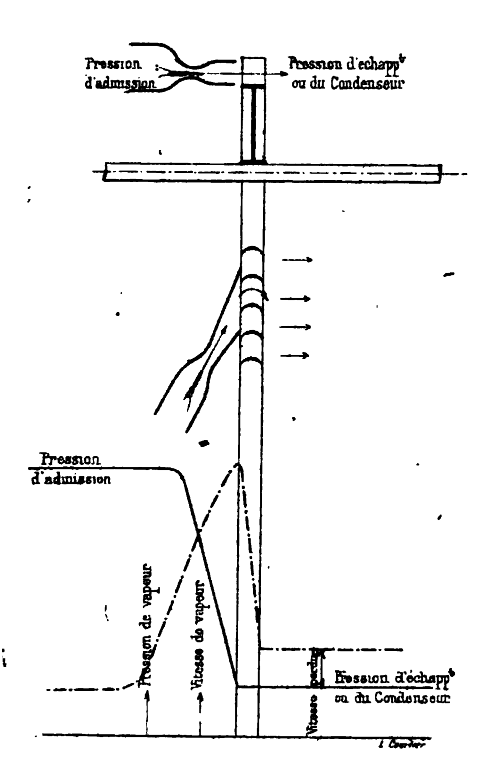
Les aubes réceptrices de la vapeur sont montées sur le disque d'une façon amovible. Les opérations de montage et de démontage en sont très simplifiées.

La garniture étanche pour arbre flexible (obturateur du vide) consiste en un coussinet spécial pouvant suivre, sans le gêner en quoi que ce soit, tous les mouvements de l'arbre flexible sur lequel il est monté, tout en fermant toute communication entre l'intérieur de la machine et l'extérieur.

Les engrenages en bronze sont remplacés par des roues en acier présentant de sérieux avantages sur les premiers.

L'emploi des disques pleins avec arbre en deux pièces permet de réaliser des vitesses périphériques plus en rapport avec les vitesses de la vapeur, et de réaliser, par conséquent, des rendements plus élevés.

Fig. 25 - Turbine de Laval
Diagramme des lignes de pression et de vitesse




Un système distributeur, constitué par des ajutages obturables individuellement, et dont les sections de sortie sont cependant tellement contiguës qu'il ne résulte de l'ouverture simultanée de ces ajutages qu'un flux de vapeur unique, permet une meilleure utilisation de l'énergie de la vapeur, qui se traduit par une économie sensible sur les consommations ordinaires *(fig. 23)*.

La turbine de Laval compound a servi de point de départ à la création de la turbine de Laval-Bréguet, à disques multiples *(fig. 24)*, dont une des premières applications a été faite à la propulsion d'un torpilleur de la Marine française.

La figure 25 représente le diagramme des pressions et des vitesses.

### De Laval Steam Turbine C°, de Trenton.

Cette Société, en dehors de plusieurs machines disséminées dans les différents endroits, avait un pavillon spécial pour l'exposition de son matériel (*fig. 22, Pl. 111*).

Matériel exposé :

Une turbine-dynamo de 300 ch, accouplée àune dynamo Bullock de 200 kilowatts, ayant figuré dans le Palais de l'électricité.

Nombre de tours : 900 par minute;

Encombrement : 4,500 m × 1,900 m;

Poids : 13 500 kg;

Diamètres des tuyaux d'arrivée de vapeur et d'échappement : 126 mm et 305 mm;

Une turbine de 10 ch, accouplée à un ventilateur Sturtevant ayant figuré dans la Galerie des Machines;

A l'exposition des Philippines, il y a eu une turbine-dynamo de 30 ch, 20 kilowatts, servant comme excitatrice;

Au Palais des Mines et de la Métallurgie il y a eu une turbine-pompe de 30 ch.

Au Pavillon spécial, il y avait :

Une turbine-dynamo de 30 ch, 20 kilowatts, courant continu, 220 volts;

Une turbine-pompe, composée d'une turbine de 55 ch et d'une pompe centrifuge pouvant élever 6 430 l par minute, à 30 m, à 1 545 tours par minute, ce qui correspond à un rendement de 76 0/0. Les diamètres des tuyaux d'aspiration et de refoulement ont 200 mm, la roue 330 mm;

Une pompe électrique, composée d'un électromoteur de 20 ch et d'une pompe centrifuge pouvant élever 4 540 l par minute, à 13,5 m, à 2 000 tours par minute. Les diamètres des tuyaux d'aspiration et de refoulement ont 200 mm, la roue de la pompe, 210 mm;

Une turbine-pompe à haute pression, composée d'une turbine et de deux pompes centrifuges, dont l'une à basse et l'autre à haute pression, pouvant élever 950 l par minute à 210 m. La pompe à haute pression tourne à 20 500 tours par minute, alors que celle à basse pression tourne à 2 050.

Le diamètre du tuyau d'aspiration est de 150 mm, celui de refoulement, de 100 mm.

Le diamètre de la roue de la pompe à haute pression a 72 mm; celui de la pompe à basse pression, 230 mm.

### Condenseur barométrique.

Il y avait deux condenseurs de ce type : condenseur Worthington et condenseûr Alberger, ne différant que par de petits détails de construction.

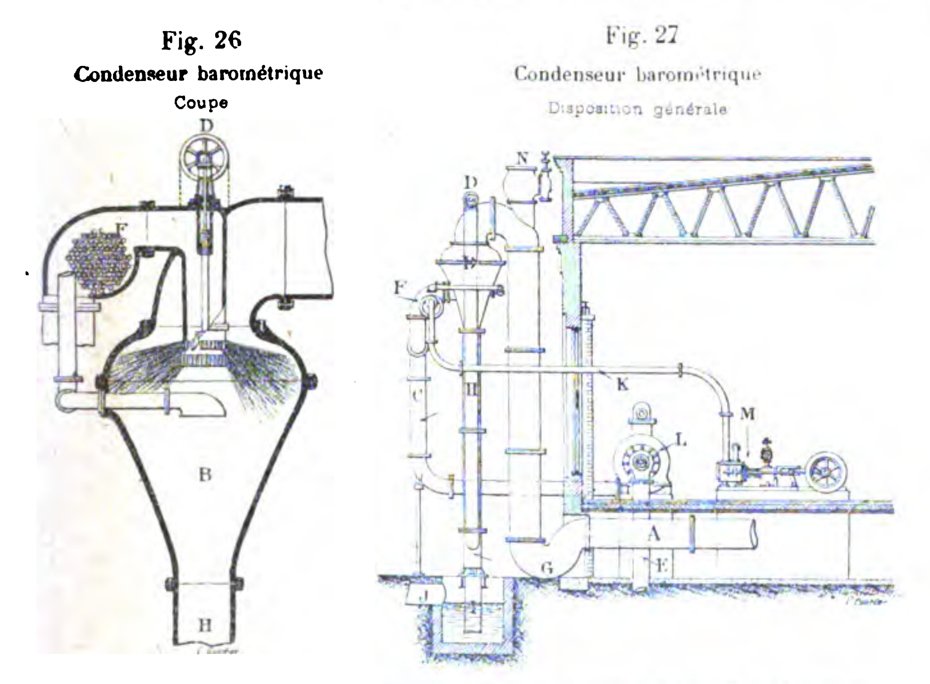
La figure 26 représente la coupe de la chambre barométrique.

La figure 27 représente la disposition générale :

A, conduite d'amenée de vapeur d'échappement; B, condenseur; C, tuyau d'arrivée d'eau froide au condenseur; D, robinet de réglage d'injection; E, tuyau d'aspiration; F, réfrigérant d'air;

Fig. 26
Condenseur barométrique
Coupe

Fig. 27
Condenseur barométrique
Disposition générale




G, entraîneur; H, tuyau d'évacuation des eaux chaudes du condenseur; I, réservoir d'écoulement des eaux chaudes; J, trop-plein du réservoir; K, tuyau d'aspiration d'air; L, pompe de circulation; M, pompe à air sec; N, Soupape.

TABLEAU II

*Moteurs à vapeur à piston à l'Exposition de Saint-Louis, 1904.*

| EXPOSANTS | TYPES DE MACHINES | PUISSANCE TOTALE en | | DIAMÈTRE du CYLINDRE | | COURSE | NOMBRE de TOURS | VITESSE du PISTON |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | chevaux | kilowatts | H. P. | B. P. | | | |
| | | | | mm | mm | | | m |
| Société Delaunay-Belleville. St-Denis | 1 quadruple expansion. Tiroirs cylindriques. | 1 500 | 1 000 | 340 | 680 | 470 | 335 | 5,25 |
| Sté Alsacienne de Constructions Mécaniques. Belfort-Mulhouse | 1 compound tandem horizontale. Pistons-valves. | 1 000 | 700 | 600 | 1 400 | 1 300 | 94 | 4,07 |
| Bradley Manufacturing Co. Pittsburg | 1 Willans triple expansion verticale. Tiroirs cylindriques. | 1 000 | 600 | 337-635-820 | | 337 | 277 | 3,11 |
| | 1 Willans compound verticale. | 50 | 30 | 45 | 305 | 152 | 47 | 2,4 |
| Buffalo Forge Co. Buffalo | 1 compound tandem horizontale. | 225 | 132 | 330 | 560 | 355 | 240 | 2,84 |
| Skinner Engine Co. Érié | 1 monocylindrique horizontale. | 240 | 180 | 457 | — | 457 | 212 | 3,2 |
| American Engine Co. Bound Brook | 1 compound horizontale. | 200 | 125 | 356 | 560 | 406 | 230 | 3,11 |
| Hoover Owens Rentschler. Hamilton | 1 Corliss cross compound verticale. Pistons-valves. | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | 3,70 |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [illegible] | presseur d'air). | [illegible] | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | | |
| Allis Chalmers. Chicago . . . . . . . | 1 cross-compound horizontale et verticale Allis-Reynolds. | 5 000 | 3 500 | 1 117 | 2 387 | 1 524 | 75 | 3,81 |
| Murray Iron Works C°. Barlington . . | 1 monocylindrique horizontale Corliss. | 750 | 500 | 660 | — | 1 220 | 100 | 4,06 |
| Harrisbury Foundry and Machine Works. Harrisburg . . . . . . . . | 1 compound tandem horizontale Fleming. Pistons-valves. | 600 | 400 | 381 | 1 028 | 660 | 150 | 2,80 |
| Lane and Rodley C°. Cincinnati. . . | 1 cross compound Corliss. | 900 | 600 | 508 | 1 016 | 1 370 | 85 | 3,88 |
| I. and E. Greenwald. Cincinnati . . . | 1 cross compound horizontale. Tiroirs plans. | 600 | 400 | 456 | 915 | 1 070 | 100 | 3,56 |
| Westinghouse. Pittsburg. . . . . . . | 4 Corliss cross-compound verticales de 3 200 ch. | 12800 | 8 000 | 965 | 1 930 | 1 422 | 83 | 3,75 |
| | 3 compound verticales de 120 ch. | 360 | 290 | 320 | 508 | 320 | 300 | 3,20 |
| A. L. Ide. and Sons. Springfield . . . | 1 compound tandem horizontale. Tiroir cylindrique H. P. Tiroir plan B. P. | 300 | 200 | 330 | 660 | 457 | 200 | 3 |
| Jeanesville Iron Works C°. Jeanesville . | Jumelle horizontale tandem, triple expansion, pour pompe. | 240 | — | 280-432-762 | | 900 | 25 | 0,75 |

# CHRONIQUE

**N° 306.**

SOMMAIRE. — Quelques applications de l'acier. — Un record dans la consommation des machines à vapeur. — Nouveau dispositif pour changement de vitesse. — Le pont transbordeur de Duluth. — Le tunnel de Shiloah.

**Quelques applications de l'acier.** — M. R. A Hadfield, le fabricant d'acier bien connu de Sheffield, a lu, à la récente réunion de l'Institut du fer et de l'acier qu'il était appelé à présider, un discours sur les progrès de la métallurgie d'où nous extrayons quelques passages qui nous ont paru particulièrement intéressants.

La fabrication de l'acier coulé ne date que de 40, mettons au plus 50 ans. En effet, avant la grande Exposition Universelle de 1851 à Londres, l'acier coulé était inconnu en pratique tandis qu'aujourd'hui on peut dire qu'on ne pourrait plus se passer de l'emploi de ce métal dans la construction.

Il y a eu longtemps une sorte de mystère autour de cette industrie. Elle a donné lieu à beaucoup de difficultés et de déboires, plusieurs de ceux qui l'ont entreprise dans les premières périodes ne se doutaient pas des problèmes qu'ils avaient à résoudre. On croyait que la fusion de l'acier et de la fonte étaient des opérations analogues, l'expérience a prouvé que c'étaient des choses très différentes. La facilité avec laquelle on coule aujourd'hui de gros lingots fait qu'on ne se rend plus aisément compte des difficultés extraordinaires qu'ont eu à surmonter les premiers fabricants pour obtenir des pièces de dimensions médiocres. Le manque de fluidité suffisante était une grande gêne et on manquait des quantités de pièces. De plus la contraction qui est presque double de celle de la fonte ajoutait à la difficulté d'obtenir des moulages exempts de fissures sans compter que la nature pâteuse du métal amenait trop souvent la production de pièces dont la structure intérieure rappelait celle d'une éponge.

Toutes ces difficultés ont été surmontées peu à peu et bien que la coulée de l'acier exige encore des soins tout particuliers, on peut dire que les résultats obtenus dans les dix dernières années dans cette industrie ont été des plus satisfaisants.

Les avantages importants obtenus de l'usage de l'aluminium et du silicium dans l'acier coulé ont joué un rôle considérable dans l'amélioration de la qualité des moulages d'acier. La connaissance plus approfondie de la composition et des qualités des sables et des matières réfractaires employées dans la confection des moules apporte aussi un contingent considérable au progrès. On obtient maintenant toute une variété de produits depuis ceux qui ont une ductilité comparable à celle du fer doux jusqu'à ceux qui présentent la plus grande dureté.

Bien des difficultés que présente encore l'emploi de l'acier coulé dans la construction disparaitraient si le constructeur voulait bien consulter le

fabricant d'acier lorsqu'il exécute ses dessins et ses modèles. Il faut bien peu de choses dans la forme d'une pièce ou ses proportions pour l'empêcher d'être obtenue d'une manière satisfaisante à la coulée. L'acier peut être excellent, le moule bien préparé et la pièce entièrement manquée parce que le dessinateur ne s'était pas préoccupé suffisamment d'approprier certaines formes à la nature particulière du métal liquide.

Comme exemple de pièces difficiles obtenues couramment par l'orateur, on peut citer des cylindres de presses hydrauliques de 9,15 m de longueur dont les parois ont seulement 45 millimètres d'épaisseur, la contraction dans les moules s'élève au chiffre, loin d'être insignifiant, de 190 millimètres c'est-à-dire que, pour obtenir un cylindre de 9,15 m de longueur, il faut que le moule ait 9,34 m.

On ne saurait parler de l'industrie de l'acier sans dire quelques mots au moins de ses applications au matériel de guerre. Si la guerre doit être justement exécrée, on peut dire qu'il y a toutefois des compensations; ceux qui préparent les armes défensives et offensives ont largement contribué au développement de la fabrication d'aciers spéciaux qui rendent les services les plus signalés aux arts de la paix.

Dans la fabrication des blindages le chemin fait depuis la plaque primitive en fer jusqu'à la plaque moderne en acier avec surface cémentée est des plus remarquables. La valeur de l'armure actuelle est à peu près triple de celle de l'ancienne, et ce progrès, on le comprend facilement, a amené une révolution dans la construction du navire de guerre. Il n'est pas douteux que si les navires qui ont figuré dans les récents engagements dans l'Extrême-Orient avaient été cuirassés de plaques de fer, aucun n'aurait survécu à la bataille. On dit qu'au contraire, les perforations de blindages ont été relativement rares.

Les plaques compound ont, à un moment, fait échec aux plaques d'acier, mais c'est à l'Américain Harvey qu'on doit l'idée hardie d'appliquer le vieux procédé de la cémentation à la surface d'une plaque pour la durcir et la rendre pratiquement impénétrable à tout autre projectile qu'un projectile à coiffe. Harvey fut largement soutenu par la marine américaine. Ensuite Ehrensberger et Schmitz, des aciéries Krupp, aidés des immenses ressources de ces établissements, perfectionnent ce système et améliorent la qualité de l'acier des blindages à un degré tel que les plaques Harvey à leur tour durent céder la place à ce qu'on appelle universellement K. C. les blindages Krupp cémentés.

Comme exemple de la supériorité de ce genre de protection, on peut dire qu'une plaque de 0,152 m d'épaisseur présente la même résistance qu'une plaque de fer de 0,457 m. On voit que cette différence a amené une révolution dans la construction des navires de guerre par la réduction de poids de l'armure et cette révolution est due aux progrès de la métallurgie,

Le problème consistant à arrêter instantanément contre une plaque de blindage un projectile de rupture, animé d'une énergie allant quelquefois à la valeur énorme de 9,150 tonnes-mètres n'est pas des plus commodes à résoudre comme on peut le comprendre. Aussi doit-on reconnaitre le grand mérite des métallurgistes tels que Krupp, Brown, Vickers, Cammell, Beardmoree, Armstrong, Schneider, Carnegie, les aciéries de

Terni, Witkowitz, Bethlehem, etc., qui ont graduellement amené leur fabrication a un état tel qu'un projectile non coiffé peut être arrêté brusquement, mais en éprouvant une destruction à peu près complète sans que la plaque qu'il a frappée soit perforée et éprouve d'autres dommages que quelques fissures superficielles.

MM. Schneider et C$^{ie}$, du Creusot, ont laminé en novembre dernier une plaque en acier au chrome et au nickel du poids de 65 t, le lingot qui l'a produite avait 1,22 m de côté sur 2,75 m de longueur.

Si le prix payé pour ces blindages est actuellement élevé, il ne l'est pas trop pour compenser les risques et les difficultés que présente une fabrication de ce genre.

Après avoir parlé de l'armure, il est utile de dire quelques mots du dernier modèle de projectiles qui, grâce à l'addition d'une coiffe, a été rendu capable de perforer ces plaques remarquables. Les difficultés que présente la production de projectiles d'une si grande efficacité sont tout à fait analogues à celles qu'à rencontrées la fabrication des plaques. C'est un grand honneur pour les métallurgistes de la Grande-Bretagne, qui n'ont pas, comme ceux de certains autres pays, le secours et l'appui de leur gouvernement, d'avoir pu résoudre ce problème. Nous citerons le cas d'un projectile de 0,305 m tiré contre une plaque Krupp cémentée avec une vitesse de 610 m par seconde; la plaque a été complètement traversée par le projectile qui a été retrouvé entier en arrière de la plaque.

Si on considère les efforts énormes qu'ont à subir et la plaque et le projectile, on comprend que la production du métal le plus convenable pour leur fabrication demande beaucoup de science et des études particulières.

Il reste encore à trancher beaucoup de questions pour cette fabrication aussi bien que pour celle des canons modernes de grande puissance.

Pour la construction des pièces d'artillerie, l'acier au carbone a été longtemps le seul employé. Il y a une difficulté spéciale, c'est le risque de voir éclater les pièces qu'on doit d'abord éviter. A cet égard certains aciers ont été regardés avec suspicion, mais actuellement on tend à considérer l'utilité d'employer des aciers spéciaux présentant une grande résistance aux efforts intérieurs qu'ils sont appelés à subir et aussi à l'érosion. On se préoccupe également des moyens d'éviter la production d'aciers veinés (Streakysteel) qui a donné jadis lieu à de grandes difficultés.

Pour donner une idée exacte de l'énorme quantité d'énergie à laquelle on a affaire dans la construction des pièces d'artillerie, nous dirons qu'un canon de 0,307 m à chargement par la culasse a lancé des projectiles ayant une vitesse à la sortie de la pièce de 823,50 m par seconde, ce qui correspond à une énergie de 12880 tonnes-mètres.

Ce projectile, s'il n'a pas de coiffe, pourra perforer un blindage de 1,12 m d'épaisseur en fer, de 0,86 m en acier doux et de 0,48 m en acier Krupp cémenté; s'il est muni d'une coiffe, on pourra, avec son emploi, perforer une plaque Krupp cémentée de 0,53 m d'épaisseur. Comme on peut l'imaginer, les tubes intérieurs de ces canons ne durent pas longtemps, et, pour les pièces de gros calibres, il est fort à désirer de trouver

des aciers spéciaux pour la construction des tubes intérieurs. Lorsqu'on parle de la fabrication des canons et de l'acier à canons, les noms des fabriques de Skoda et de Böfors ne doivent pas être oubliés.

Il y a encore d'autres applications à l'art militaire pour lesquelles on a besoin d'acier présentant des qualités supérieures et, pour parler d'une manière générale, il y a encore beaucoup de place pour les recherches et les améliorations dans cette branche de la métallurgie. La fabrication du matériel de guerre et des produits dont elle a besoin est un champ de progrès incessants pour lesquels il faut des études continuellement poursuivies.

**Un record dans la consommation des machines à vapeur.** — Un fait assurément très remarquable, et que nous avons déjà eu l'occasion de signaler est que, plus la machine à vapeur, et nous voulons parler de la vieille machine alternative, se sent menacée par de redoutables concurrentes, plus elle trouve de ressources en elle-même pour soutenir la lutte sur le terrain économique. Nous avons parlé, dans notre Chronique de septembre 1904, page 382, d'un essai de machines à vapeur fait à Bessbrook, dans lequel la dépense de vapeur par cheval indiqué était descendue, pour une force de près de 1 000 ch, à 5,03 kg par cheval indiqué heure. Nous avons cité, dans la Chronique de février 1903, page 323, le cas de machines demi-fixes, de construction allemande, dont la consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure ne dépassait pas 4,35 kg, et cela pour des puissances très minimes. Enfin nous trouvons, dans le journal *Engineer*, un rapport de M. Michael Longridge, l'ingénieur bien connu, sur des essais faits récemment, qui semblent abaisser la consommation de vapeur d'une machine à un taux qui n'aurait pas encore été atteint jusqu'ici.

La machine dont il s'agit a été construite par la maison Cole, Marchent et Morley, à Bradford, et est installée dans un tissage à Belfast. C'est un moteur compound, à deux cylindres verticaux, type pilon, avec manivelles à 90 degrés. Les cylindres sont sans enveloppes de vapeur, ils ont 0,559 et 0,915 m de diamètre, avec une course de piston de 0,915 m, ce qui donne un rapport de volumes de 2,33 environ. Les espaces neutres sont, pour le cylindre H. P. de 8,7, et pour le cylindre B. P. de 9,4 0/0 du volume du cylindre correspondant.

La distribution se fait par des obturateurs à piston, quatre par cylindre; ceux d'admisson sont commandés par des mécanismes à déclics contrôlés par le régulateur pour le cylindre H. P.; tous les autres sont actionnés par des excentriques placés sur un arbre de distribution horizontal situé à mi-hauteur des cylindres, et commandé par l'arbre moteur par l'intermédiaire d'un arbre de transmission incliné et de roues d'angle. Le réservoir intermédiaire est réchauffé par de la vapeur venant de la chaudière.

La condensation se fait par injection; la pompe à air est verticale, et mue, par l'intermédiaire d'un balancier, par la tête de la tige du piston B. P. L'arbre à deux coudes se termine d'un côté par une poulie-volant à quatorze gorges portant autant de cordes pour la transmission aux ateliers de la puissance développée par le moteur.

La vapeur est produite à une pression de 8,5 kg par une chaudière type Lancashire de 96 m² de surface de chauffe et 1,06 m² de surface de grille. A la suite de la chaudière est un surchauffeur, système Schmidt avec chauffage indépendant.

Un détail à noter est que la machine est assez loin, 36 m de distance, de la chaudière, et qu'on a, en conséquence, pris des précautions pour protéger la conduite de vapeur contre le refroidissement. Cette installation est faite pour développer 500 ch indiqués à la vitesse de 100 tours par minute, ce qui correspond à une vitesse des pistons de 3,10 m par seconde, et avec une pression à la chaudière de 8,5 kg par centimètre carré.

La machine avait à peu près un an de service lorsque les essais dont nous nous occupons ont eu lieu. Nous n'entrerons pas dans les détails des expériences, qui sont contenus dans des tableaux très développés : nous indiquerons seulement que, pour les essais, on a remplacé le condenseur à injection de la machine par un condenseur à surface de 112 m² pour obtenir le volume et la température de l'eau provenant de la vapeur traversant la machine. Nous donnons, dans le tableau ci-joint, les chiffres les plus intéressants obtenus dans ces essais, faits à diverses puissances, et les données de l'expérience.

| Numéros des essais | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Durée des essais. . . . heures | 1,84 | 1.85 | 1,96 | 0,53 | 1,41 | 0.90 |
| Pression à la chaudière. . . kg | 8,31 | 8,31 | 8,31 | 8,13 | 8,30 | 8.13 |
| Température de la vapeur surchauffée . . . . . degrés C. | 395 | 392 | 398 | 385 | 399 | 387 |
| Degré de surchauffe. . . . . . | 140 | 134 | 123 | 112 | 129 | 116 |
| Vide au condenseur . . . . . m | 0,667 | 0,667 | 0,683 | 0,670 | 0.693 | 0,693 |
| Nombre de tours par minute. . | 100,6 | 100,7 | 100,6 | 100,7 | 100,7 | 100,7 |
| Travail indiqué — cylindre H. P. | 256,2 | 255,6 | 201,8 | 85.8 | 194.6 | 149,3 |
| Travail indiqué — B. P. | 225,1 | 205,5 | 145,7 | 61.6 | 138,9 | 107.8 |
| Travail indiqué — total. . . . | 481,3 | 461,1 | 347.5 | 147,4 | 333,5 | 256,2 |
| Vapeur par cheval indiqué heure. | 4,081 | 4,200 | 4,027 | 3,900 | 3,933 | 3,960 |
| Calories — — — | 3 000 | 3 050 | 2 984 | 2 900 | 2 930 | 2 930 |
| Charge de la machine par rapport à la charge normale de 500 ch. | 0,962 | 0,922 | 0,695 | 0,295 | 0,667 | 0,512 |

Nous avons donné dans le tableau la température de surchauffe à la sortie du surchauffeur, mais nous avons donné aussi les degrés de surchauffe à l'entrée du cylindre H. P. ; ce dernier chiffre est le plus intéressant, il est inférieur au degré de surchauffe à la sortie du surchauffeur de la quantité de chaleur perdue dans les conduites.

On peut citer à ce propos un fait intéressant :

Le surchauffeur était muni d'un pyromètre pour permettre d'apprécier la température de la vapeur. Or, un jour, cet appareil se dérangea

il marquait 340 degrés, et le chauffeur, trouvant, conformément à ses instructions, la température insuffisante, poussa son feu si bien que les enveloppes isolantes du conduit de vapeur prirent feu ; on constata, avec des thermomètres, que la vapeur avait acquis alors la température de près de 450 degrés, soit pas bien loin du rouge sombre. Ce fait se passait la veille des essais dont nous parlons, ce qui prouve que cette température excessive, supportée pendant quelque temps, n'a eu aucune action fâcheuse sur les parties intérieures de la machine.

On voit que, dans la moitié des expériences, la dépense de vapeur par cheval indiqué heure, est tombée au-dessous de 4 kg ; c'est, paraît-il, la plus basse qui ait été encore constatée, ce qui justifie le titre de cet article.

On remarquera également la faible variation de la consommation de vapeur avec la puissance ; en effet, entre les expériences I et IV, le rapport des puissances est de 3,26 à 1, et celui des consommations de 1,045, la consommation par cheval a donc augmenté seulement de 4,5 0/0, alors que la puissance passait de 1 à 3 1/4. Ce résultat remarquable tient à l'emploi de la surchauffe, qui tend à annihiler l'action des parois, laquelle était d'autant plus fâcheuse que la détente était plus prolongée et, par conséquent, la puissance développée moins considérable.

Nous appellerons en terminant l'attention sur le fait suivant. Dans l'exposé de la situation de la machine à vapeur lors du Cinquantenaire de la Société (voir 1898, vol. II, page 334), il est dit que la plus faible consommation des machines à triple expansion, à condensation fonctionnant avec de la vapeur saturée était de 5,12 kg de vapeur par cheval indiqué heure, correspondant à une dépense de calorique de 3 394 calories, alors qu'en 1847 la consommation correspondante était de 6 480 calories.

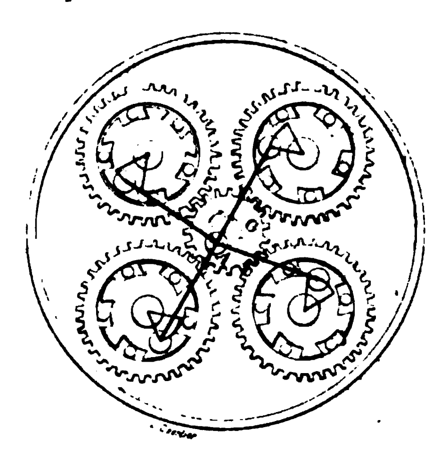
On voit qu'on peut arriver aujourd'hui à une dépense de 2 900 seulement ; c'est donc une réduction de 14 0/0 sur le chiffre de 1898 et une de 55 0/0 sur celui de 1847, réalisé sur les machines les plus économiques de l'époque, couronnées comme telles par la Société d'Encouragement.

Alors déjà, et à plus forte raison plus tard, il ne manquait pas de gens pour déclarer que la machine à vapeur était arrivée à la perfection, et qu'il n'y avait plus de nouveaux progrès à en espérer. L'expérience se charge tous les jours de donner un énergique démenti à cette manière de voir.

**Nouveau dispositif pour changement de vitesse.** — Dans certaines machines, et surtout dans les automobiles, on emploie avantageusement des dispositifs permettant des changements de vitesse. Depuis quelques années, on en a proposé un grand nombre, mais ils ont presque tous l'inconvénient de ne réaliser qu'une faible quantité de vitesses déterminées, et on a été généralement porté à croire qu'il est impossible de créer un dispositif pratique permettant d'obtenir toutes les vitesses entre zéro et un maximum fixé d'avance.

On a pu voir, à une récente exposition d'automobiles, à Londres, un

mécanisme du système Newmann, qui résout ce problème d'une manière très élégante. La description en a été donnée dans le journal *Technics* et nous la trouvons dans le supplément du *Scientific American*. Nous croyons intéressant de la donner comme exemple d'une question curieuse de cinématique.



Le pignon central G est fixe, avec lui s'engrènent quatre pignons satellites tournant sur des axes portés par une boîte qui renferme le mécanisme et qui est reliée d'une manière fixe à l'arbre à vitesse variable.

Chacun des pignons satellites est composé de deux parties : une couronne dentée et un moyeu tournant librement sur l'axe fixé à la boîte. Ces deux parties sont indépendantes, et reliées seulement par un embrayage à friction disposé comme suit : sur le pourtour du moyeu sont pratiquées quatre encoches contenant chacune un galet; le fond de l'encoche n'est pas concentrique au pourtour, mais disposé de façon que l'encoche ait moins de profondeur à une extrémité qu'à l'autre; l'un des côtés étant plus grand que le diamètre du galet, et l'autre plus petit. Il résulte de cette disposition que, si le moyeu de chaque pignon tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, avec vitesse supérieure à celle de la couronne dentée, le galet se rapproche de la partie la moins profonde de l'encoche, et coinçant dans celle-ci, entraîne la couronne dans son mouvement de rotation. Si, au contraire, la vitesse du moyeu est inférieure à celle de la couronne, le galet cesse d'appuyer sur celle-ci; de même si le mouvement a lieu en sens inverse, et la couronne et le moyeu deviennent indépendants l'un de l'autre.

Supposons maintenant que l'un des moyeux représentés sur la figure soit susceptible d'un faible déplacement angulaire dans un sens ou dans l'autre; si ce déplacement a lieu dans le sens des aiguilles d'une montre, le galet serre la couronne, et celle-ci est obligée de tourner, et par conséquent de se déplacer autour du pignon central en entraînant avec lui la boîte et les autres pignons satellites. Au contraire, si le déplacement angulaire s'opère dans l'autre sens, l'embrayage n'a pas lieu, et le moyeu se déplace sans entraîner la couronne dentée. Il résulte de ce qui précède que des déplacements successifs très faibles dans un sens ou

dans l'autre de l'un des moyeux amèneront la rotation de la boîte, et par conséquent de l'arbre à vitesse variable dans le sens des aiguilles d'une montre. Il reste à indiquer comment ce petit déplacement angulaire des moyeux peut se produire.

A l'extrémité de l'arbre à vitesse constante supposé en avant de la figure, est disposé un axe excentré A. Cet axe n'a aucune relation avec le pignon fixe G, mais tourne devant lui selon le cercle pointillé. Cet axe est relié par quatre petites bielles à autant de broches fixées aux moyeux des pignons satellites, de sorte que pendant un tour de l'arbre à vitesse constante, chaque moyeu reçoit un déplacement angulaire alternatif, ce qui oblige chaque couronne dentée à effectuer un certain déplacement autour du pignon central G. Les positions respectives des bielles de connexion sont telles que, lorsqu'un des moyeux est débrayé d'avec la couronne dentée correspondante, le pignon suivant est embrayé et, par conséquent, la boite portant l'arbre à vitesse variable continue à tourner avec une vitesse qui dépend de l'angle décrit par la broche fixée au moyeu, angle qui peut être varié à volonté. Si l'excentricité de l'axe principal A est telle que l'angle que l'extrémité de la bielle fait faire à la broche du moyeu correspond à $n$ dents du pignon satellite correspondant, si le pignon central fixe a T dents, par un principe connu de cinématique, l'arbre à vitesse variable tournera à raison de $4n$ $(T + 4n)$ par rapport à la vitesse de l'arbre à vitesse constante. En voici la démonstration :

Supposons que la boite contenant le mécanisme et l'arbre à vitesse variable soient arrêtés, le pignon central G pouvant tourner librement. Dans ce cas, si l'arbre à vitesse constante fait un tour complet en emportant avec lui la broche excentrée A, chaque pignon satellite tournera dans le sens des aiguilles d'une montre et fera tourner le pignon central de la fraction $(n/T)$ d'un tour; ainsi le pignon central aura aussi tourné de $(4n/T)$ dents dans le sens opposé. Si on ramène maintenant ce pignon central A à sa position primitive en faisant tourner l'ensemble du mécanisme de $4n/T$ dans le sens des aiguilles d'une montre, alors la broche A et l'arbre à vitesse constante auront tourné de $1 + (4n/T)$ tours et la boite fixée à l'arbre à vitesse variable de $(4n/T)$ tours. D'où le rapport :

$$\frac{\text{Vitesse de l'arbre à vitesse variable}}{\text{Vitesse de l'arbre à vitesse constante}} = \frac{4n}{T + 4n}$$

Le journal ajoute que lorsque ce système qui a beaucoup attiré l'attention est installé sur une automobile, on voit le véhicule se déplacer d'abord à une vitesse excessivement faible et passer graduellement au maximum sans choc ni discontinuité du mouvement.

La description qui précède, que nous donnons telle qu'elle est dans le journal précité, parait incomplète en ce qui concerne une partie du mécanisme. La variation de la vitesse est due à la variation de l'excentricité du point A ; comment s'opère cette variation, c'est ce qui n'est pas indiqué. Il existe en cinématique diverses dispositions pour varier la course d'un excentrique; il serait intéressant de connaitre celle qui a été adoptée ici.

**Le pont transbordeur de Duluth.** — On a construit à Duluth, sur le Lac Supérieur, aux Etats-Unis, un pont transbordeur destiné à assurer le service du passage au-dessus du canal de grande navigation reliant le lac au port. Cet ouvrage a été ouvert au public le 27 mars de cette année. Nous devons donner d'abord quelques détails sur ses dispositions générales en ajoutant, ce qui n'est pas sans intérêt que c'est, dit-on, la vue du transbordeur de Rouen qui a donné à l'Ingénieur municipal de Duluth l'idée d'établir un ouvrage semblable. Cette solution était, d'ailleurs, la seule possible, car le canal en question a un trafic de 8 à 9 000 grands navires par an.

Le pont proprement dit est formé d'une poutre à double treillis système Warren, de 15 m de hauteur au milieu, portée aux extrémités sur deux pylônes à montants légèrement inclinés vers la partie centrale. L'ouverture libre est de 120 m; le dessous des poutres est à 41,50 m au-dessus du niveau du lac et à 38,80 m au-dessus des abords de l'ouvrage. Les deux poutres sont écartées l'une de l'autre de 10,30 m d'axe en axe. La nacelle a son plancher à 2,75 m au-dessus du niveau des quais. elle a 10 m de largeur et 15 m de longueur et peut porter une charge utile de 51 200 kg; le poids de la partie mobile sans charge est de 56 600 kg. Il est entré dans la construction 570 000 kg d'acier.

Ce transbordeur a été établi sur les plans de M. C. A. P. Turner, de Minneapolis, par la Modern Steel Structural Cy. de Waukesha, Wis., pour le prix de 500 000 f. Les poutres supérieures ont dû être montées en porte à faux parce qu'on ne pouvait songer à établir des échafaudages dans le canal où le trafic est très intense pendant la saison de la navigation et qui, en hiver, est encombré par les glaces.

Avant de livrer le pont à la circulation, on l'avait préalablement éprouvé avec une charge de ferraille pesant environ 60 000 kg. Le résultat de cet essai, bien que satisfaisant, fit voir la nécessité de renforcer les supports des rouleaux sur lesquels passaient les câbles donnant le mouvement à la nacelle et le service ne fut commencé d'une manière régulière que le 2 avril pour être continué depuis sans interruption. sauf pendant trois jours employés à peindre l'intérieur des chemins de roulement des roues du chariot mobile.

L'expérience a montré que la force motrice était largement suffisante pour que le transport de la nacelle s'effectuât sans vibrations ni bruit et à une vitesse supérieure à celle qui avait été prévue.

La distance franchie est exactement de 119,25 m et le temps employé est de 60 à 75 secondes, ce qui correspond à une vitesse de translation de 5 630 à 8 240 m à l'heure entre le démarrage et l'arrêt.

Le 9 avril, qui était un dimanche et de plus une fête, un homme fut placé sur la nacelle par les constructeurs, avec mission de compter les personnes présentes pour chaque trajet. Entre midi et 7 h. 25 du soir, on compta 29 944 voyageurs, le plus grand nombre par trajet fut de 814.

Voici un fait intéressant: la partie du plancher disponible est de 125,3 m², à quoi il faut ajouter 30,5 m linéaires de banquettes de 0 307 m de largeur du type ordinaire des tramways. C'est l'équivalent de sensiblement 130 m² de plancher, de sorte que 814 personnes, y compris femmes et enfants, mais sans les chiens, donnent une charge

par mètre carré d'environ 365 kg, par mètre carré; la foule était si serrée que le contrôleur, un homme mince et actif, ne mit pas moins de 1 minute un quart à pouvoir aller d'un bout à l'autre de la nacelle, soit une distance de 15 m, pour ouvrir les portes.

Cette constatation n'a point pour objet de contester les chiffres donnés par le professeur Johnson dont nous avons parlé dans la chronique de novembre 1904, page 698, mais bien de fournir un élément à la question du poids d'une foule.

Une quinzaine de jours après l'ouverture au service, le 16 avril, il souffla une brise assez forte et, à un moment, le Bureau météorologique des États-Unis enregistra une vitesse du vent de 61,2 km à l'heure. En prenant la pression correspondante, 32 kg par mètre carré, on trouve un effort de 1 940 kg sur l'ensemble de la partie suspendue, pression suffisante pour faire mouvoir la nacelle dès qu'elle eût eté détachée; la force motrice n'ayant été employée qu'à agir sur les freins à l'arrivée. A midi, la vitesse du vent était de 52,5 km à l'heure, la pression élémentaire correspondante de 24,3 kg, formant un effort total de 1 360 kg, fut également suffisante pour continuer le déplacement de la nacelle une fois démarrée, la force motrice n'ayant été employée que sur les 19 premiers mètres du parcours et pour faire agir les freins à l'arrivée.

Quelques modifications faites depuis ont encore réduit la résistance au roulement de la partie mobile.

Il s'est produit à plusieurs reprises des vents de travers, dont la vitesse a été reconnue atteindre 82 et même 96,5 km à l'heure, le transbordeur étant en service, sans qu'on ait pu constater une inclinaison sensible ou tout autre effet appréciable à l'œil, bien que des moyens très délicats aient fait reconnaître, avec un vent animé d'une vitesse de 53 km, une déviation totale des poutres et des suspensions de la nacelle égale à 11 millimètres au pied de la verticale.

Ces détails sont donnés par un correspondant de l'*Engineering News*.

**Le tunnel de Shiloah.** — A l'occasion de l'achèvement du percement du Simplon, le docteur Bertholet, professeur à l'Université de Bâle, a appelé l'attention sur un précédent à ce grand travail, précédent bien modeste mais qui présente la particularité peu banale d'avoir été accompli il y a plus de vingt-cinq siècles. En fait, c'est le premier exemple connu de percement d'une galerie dans la roche.

On lit dans le *Livre des Rois* que le roi Ezechias, qu'on suppose avoir régné à Jérusalem de 727 à 699 avant l'ère chrétienne, fit un réservoir et un conduit et amena l'eau dans la ville, fait confirmé par Jésus Sirach qui écrit : « Ezechias fortifia la cité en y amenant de l'eau et en perçant le rocher avec du bronze pour y conserver l'eau dans un réservoir. » Ce percement, opéré avec des outils en bronze, se rapporte, d'après l'opinion des auteurs modernes, au tunnel de Shiloah qui amenait dans la ville l'eau de la source de Marie situé à l'orient de Jérusalem, source mentionnée dans le quatrième Evangile. Ezechias paraît s'être proposé deux objets dans ce travail, d'abord d'alimenter de bonne eau la ville de Jérusalem en cas de siège et, en même temps, de priver d'eau l'assiégeant.

Cette dernière raison ressort d'un passage des *Chroniques* où il est dit que le peuple se rassembla et arrêta toutes les fontaines et le ruisseau qui coule dans le milieu du pays pour empêcher les rois d'Assyrie de s'en servir s'ils venaient à assiéger la ville. On trouve, dans le même chapitre, indiqué d'une manière plus explicite qu'« Ezechias arrêta le cours du Gihon et le détourna du côté occidental de la cité de David ». Le canal à ciel ouvert, découvert en 1890, fut construit sous le règne du prédécesseur d'Ezechias et c'est probablement de cet ouvrage que parle Isaie : « les eaux de Shiloah qui coulent lentement »; il fut ainsi remplacé par un système plus efficace consistant en un conduit souterrain.

Le tunnel de Shiloah qui existe actuellement, avait donc été déjà reconnu comme étant l'ouvrage exécuté par le vieux roi juif, mais le hasard a permis plus récemment de connaître les détails techniques de l'exécution de ce travail. En 1880, des enfants qui se baignaient dans le tunnel remarquèrent une inscription qui, examinée avec attention, fut reconnue être formée d'anciens caractères hébreux, moins primitifs toutefois que ceux de la pierre de Moab et des recherches plus minutieuses montrèrent que l'inscription devait être contemporaine de l'exécution du tunnel. Malgré quelques lacunes, on peut rétablir l'inscription sous la forme suivante :

« (Est achevé) le percement. Et voici comment on l'a opéré. Lorsque le pic de l'un... contre le pic de l'autre et lorsqu'il y avait encore trois aunes (1) (à percer), alors (on pouvait entendre) la voix de l'un qui appelait l'autre, car il y avait (une ouverture) dans le rocher du côté sud... et le jour du percement final, les ouvriers se rencontrèrent pic contre pic. Alors les eaux coulèrent dans le réservoir situé à 1 200 aunes de distance. Et la hauteur du rocher au-dessus des travailleurs était de 100 aunes. »

Cette description ne laisse aucun doute sur le fait que le percement a été attaqué par les deux extrémités. Une curieuse confirmation de ce point est donnée par les marques des outils sur les parois, marques qui sont en sens inverse dans les deux moitiés nord et sud.

Le travail ne s'est pas accompli sans quelques accrocs. On a pu reconnaître que la direction avait dû être plusieurs fois modifiée et que même des galeries commencées avaient dû être abandonnées. Il semble d'après un passage de l'inscription que la rencontre des deux avancements est due à ce que les ouvriers entendirent leurs voix d'un côté à l'autre. La boussole, bien qu'on prétende qu'elle ait été connue dans l'Extrême-Orient à une date très reculée, ne peut guère avoir été à la disposition des Ingénieurs d'Ezechias.

Le tunnel dont nous parlons forme un long conduit en ligne droite. Sa longueur actuelle est de 531 m ce qui correspond aux 1 200 aunes dont il est parlé dans l'inscription, tandis que la distance géométrique entre le point de départ et le point d'achèvement du tunnel n'est que de 332 m. Le point où les ouvriers se sont rencontrés est à peu de distance du milieu, soit à 246 m de la source de Marie et à 285 m du réservoir

(1) Le texte anglais dit *ells* dont l'équivalent français est aune, c'est pourquoi nous avons employé ce dernier mot.

de Shiloah. La largeur du tunnel varie de 0,61 à 0,92 m; la hauteur, qui est de 3 m environ à l'extrémité sud, ce qui tient probablement à ce que le constructeur profita d'une fissure naturelle du rocher, tombe à un endroit à 0,50 m pour se relever à 1,80 m à l'entrée nord.

Si les Ingénieurs juifs n'ont pas réussi à maintenir leur percement en ligne droite en plan, en revanche ils ont mis le plus grand soin à conserver sur toute la longueur le niveau horizontal. Il n'y a pas plus de 0,30 m de différence d'une extrémité à l'autre. Ce fait semblerait indiquer qu'on possédait déjà à cette époque quelque instrument primitif pour établir un niveau. Les renseignements qui précèdent sont donnés par l'*Engineer*.

---

# COMPTES RENDUS

## SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

### Mai 1903.

Rapport de M. E. Bourdon sur la **machine à mouler** de M. Bonvillain.

**Résumé d'une conférence** faite à la Société d'Encouragement par M. Ronceray sur les **machines à mouler** de M. Bonvillain.

Il nous serait impossible de donner une idée suffisante de ces machines sans l'aide des nombreuses figures qui accompagnent cet article. Nous croyons donc devoir renvoyer au bulletin de la Société d'Encouragement ceux de nos collègues que la question intéresserait plus particulièrement.

Rapport de M. L. Masson sur un ouvrage de M. J. Carlier, intitulé : **les auxiliaires économiques des chaudières et machines à vapeur**.

L'intéressant travail dont il s'agit a été publié dans les Mémoires de l'Union des Ingénieurs de Louvain. Il étudie successivement les foyers industriels, les chargeurs automatiques, réchauffeurs d'eau d'alimentation, surchauffeurs de vapeur, appareils de condensation, etc.

Rapport de M. Ach. Livache sur le **mastic au zinc pour joints de vapeur,** de MM. Bonneville et Cie.

Le mastic au minium, généralement employé, a le double inconvénient de ne pas se conserver bien longtemps et de présenter quelque danger par le contact avec la peau.

Le mastic préparé par MM. Bonneville est composé de gris de zinc et d'huile de bois. Le mélange chauffé acquiert très rapidement une grande dureté ; ce mastic a aussi l'avantage au point de vue du prix et, enfin, il est absolument inoffensif pour les ouvriers qui l'emploient.

**Sur l'acoustique des salles,** par M. A. Exner, professeur de physiologie à l'Université de Vienne (Extrait du *Zeitschrift des Oesterreischischen Ingénieure und Architekten*).

L'auteur étudie d'abord les conditions de l'acoustique des salles et les dispositions à prendre pour leur assurer une acoustique satisfaisante. Comme on ne dispose pour mesurer cette propriété que de l'oreille, M. Exner propose l'emploi d'un acoustimètre permettant de mesurer : 1° l'intensité du son ; 2° la durée de l'écho et 3° l'intensité de l'écho

après un temps donné. Il emploie, comme source d'onde sonore, une capsule de fulminate qu'on fait détonner sur la tribune de l'orateur ; le bruit est reçu sur un téléphone de Siemens dont le transmetteur se trouve dans une chambre éloignée, tandis qu'un contact électrique permet à l'observateur placé au téléphone de faire partir la capsule. On arrive ainsi à pouvoir mesurer pour ainsi dire l'acoustique d'une salle déterminée.

**Notes économiques,** par M. M. Alfassa. Nous trouvons sous cette rubrique deux notes : l'une sur la législation internationale du travail, l'autre sur la conférence diplomatique de Berne.

**Notes de chimie.** par M. J. Garçon. Voici les principaux sujets traités dans cette partie : tannage rapide des cuirs et semelles, d'après M. Allan A. Claffin. Quelques travaux de l'American Céramic Society. Briques réfractaires, couvertes cristallisées ; gâchage des argiles ; constantes de saponification ; pouvoir dissolvant de l'hydrogène sulfuré liquide ; nouveau grisoumètre ; analyse quantitative de la soie artificielle ; protection du cuivre contre l'eau de mer ; iconogène comme réactif ; nitrate de chaux en agriculture ; émaux plombifères ; acide formique.

**Procès verbaux des séances du Comité de chimie** des 11 avril et 9 mai 1905.

**Notes de mécanique.** Guidages curvilignes dans les machines-outils. — La surchauffe et ses applications, d'après M. R. Neilson.

---

## ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

### 1er Trimestre de 1905 *(Suite et fin.)*

**Note sur les ponts suspendus.** — Application du système de la suspension aux ponts de grande ouverture pour voies ferrées, par M. Arnodin, ingénieur-constructeur.

La note expose d'abord les avantages de la suspension sur câbles en fils d'acier au point de vue de l'économie, de la sûreté, de la durée et de l'élégance et décrit les applications du système aux voies ferrées exécutées jusqu'ici ; il y en a trois exemples, dont deux en Amérique et un en Europe ; ce dernier est celui du pont sur le canal du Danube à Vienne. La seule objection qu'on puisse faire à la suspension est celle relative à la rigidité et on peut la combattre par l'emploi de la poutre raidissante dont l'action limite les déformations de telle sorte qu'elles ne puissent être en rien gênantes pour le roulement d'un train de chemin de fer. Dans ces conditions, le pont suspendu peut être aussi fructueusement employé par les voies ferrées que par les voies de terre.

Note sur **un nouveau dispositif des bassins filtrants à sable fin,** par M. Bechmann, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Dans les filtres à sable, on forme des couches successives de gravier, de cailloux et de galets ou moellons de grosseurs croissantes surmontées d'une couche de sable fin qui constitue l'organe essentiel du filtre: ces couches ont pour objet de servir de support au sable et de laisser écouler librement l'eau filtrée vers les collecteurs, tout en retenant les grains de sable que l'eau aurait tendance à entraîner.

Des circonstances particulières ont conduit à essayer, dans l'établissement filtrant d'Ivry, un dispositif modifié consistant à substituer au support ordinaire de gravier et cailloux qui a une épaisseur considérable un plancher perméable, très mince, fait en dalles de béton maigre de 70 mm d'épaisseur; un essai de ce système ayant donné toute satisfaction, on a établi ainsi le radier d'un des seize bassins filtrants d'Ivry. Ce dispositif a eu un succès complet et on a décidé d'étendre l'emploi de ce système à toute la surface des nouveaux filtres au nombre de 19, représentant une surface collective de plus de 17 000 m².

Note sur l'**exécution du puits artésien de la Butte-aux-Cailles à Paris,** par M. Geslain, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le puits artésien de la Butte-aux-Cailles, achevé dernièrement, avait été commencé il y a quarante ans. Le creusement jusqu'à la deuxième nappe des sables verts et au plus à 610 m de profondeur au-dessous du sol devait coûter 557 000 fr., comprenant 258 000 fr. de creusement à forfait, 200 000 fr. de tubage et 90 000 fr. de travaux en régie.

Les travaux de l'entreprise ont commencé réellement à la fin de 1866 et furent poussés jusqu'en 1872, sauf interruption pendant les événements de 1870-71. A la suite de différends entre l'entrepreneur et l'administration les travaux furent suspendus au mois de novembre 1872, date à laquelle la profondeur atteinte était de 532.75 m, jusqu'en 1874 et ne furent repris qu'en 1892. Il se produisit dans cette nouvelle phase divers accidents de déchirement du tubage, etc., qui gênèrent beaucoup les travaux jusqu'à ce que la sonde atteignit, le 19 novembre 1903, à la profondeur de 582,40 m la deuxième nappe.

La réception de l'ouvrage a eu lieu le 17 mars 1904. La dépense totale s'élève à un million de francs.

Note sur la **représentation graphique d'une convention de concession de chemin de fer d'intérêt local ou tramway,** par M. Thorel, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Etude sur les **effets de la dilatation dans les ouvrages en maçonnerie,** viaducs et barrages-réservoirs.

Les dilatations qu'éprouvent les maçonneries sous l'action de la température ne sont pas négligeables ; elles se traduisent par des ouvertures de joints et des fissures. L'auteur a été conduit, en reprenant les expériences déjà anciennes de Bouniceau, à faire des observations pendant la construction récente de quelques viaducs de la ligne de Quillan à Rivesaltes.

Ces observations ne laissent aucun doute sur la vraie cause des ouvertures de joints qu'on observe sur les viaducs et les ponts de quelque longueur; les effets se font d'ailleurs sentir différemment sur les diverses parties des ponts et conduisent à des conclusions sur les dispositions préférables pour ces parties.

En somme, les constatations relatives aux ponts et viaducs sont parfaitement rassurantes au point de vue de la sécurité de ces ouvrages. L'auteur a cherché à vérifier s'il en était de même pour les barrages-réservoirs. Il arrive à conclure qu'il serait utile d'adopter pour ces ouvrages des dispositions leur permettant de subir les oscillations thermiques sans se fissurer, dispositions basées sur un tracé circulaire en plan qui a, de plus, l'avantage de faire agir la pression de l'eau sur la face convexe en avant pour maintenir ou amener en contact les deux bords d'une fissure verticale déjà déclarée.

**Westrumitage des routes nationales** empruntées par la course éliminatoire française du 20 mai 1904, par M. Perrin, ingénieur auxiliaire des Ponts et Chaussées.

La westrumite est du goudron d'huiles minérales rendu soluble dans l'eau par une saponification spéciale. Elle est facile à employer parce qu'elle se mêle avec l'eau et on la répand avec un tonneau d'arrosage. La dépense en transport et main-d'œuvre n'est revenue qu'à 0,01 f le mètre carré et l'effet a été excellent, la poussière est prévenue pendant 8 ou 10 jours.

Dans ces conditions, l'emploi de la westrumite peut-être d'une application avantageuse au point de vue hygiénique dans les traversées et aux abords des villes où la circulation des automobiles est intense en attendant que l'expérience ait démontré que le westrumitage des routes en rase campagne permet une compensation à la dépense dans la conservation de la chaussée et dans la diminution de l'usure des matériaux.

**Expériences entreprises pour combattre la poussière** sur la route nationale n° 21, de Paris à Barège, par M. Soubymaigne, Ingénieur auxiliaire des Ponts et Chaussées.

Ces expériences ont été de deux sortes : 1° Goudronnage au coaltar et 2° arrosages à la westrumite. Nous nous bornerons à donner les conclusions sommaires auxquelles ces expériences ont donné lieu.

Le goudronnage, tel qu'il a été fait, paraît devoir donner d'excellents résultats et il semble qu'il doit produire une diminution très sensible d'usure des matériaux d'empierrement; c'est ce qu'on a d'ailleurs déjà constaté en Seine-et-Marne.

Quant à la westrumite, elle paraît n'avoir qu'une efficacité d'une durée très limitée contre la poussière et à peu près nulle contre la boue. Sous la neige et le verglas, les parties westrumitées se comportent absolument de la même façon que les chaussées non traitées. Il ne paraît pas que le westrumitage ait sur l'usure de la chaussée une influence appréciable.

Concours international de Vienne pour **un projet d'élévateur de bateaux.** Compte rendu par M. Wilhelm, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées.

Ce concours a été ouvert à Vienne, en avril 1903, pour un projet d'élévateur permettant de franchir une différence de niveau de 36 m sur un canal qui reliera le Danube à l'Oder; on exigeait que l'ouvrage pût faire passer 60 bateaux par 24 heures, dont 30 dans chaque sens; le plus gros de ces bateaux ayant 67 m de longueur, 8,20 m de largeur, 1,80 m de tirant d'eau et 600 t de chargement.

Il fut envoyé un très grand nombre de projets.

Le premier prix fut attribué à un projet de plan incliné et le second à un projet comportant un énorme flotteur cylindrique contenant deux sas cylindriques opposés qui peuvent être mis en communication avec les biefs; la rotation du système opère l'éclusage. Le jury a accordé, en outre, des mentions honorables à huit projets.

Le projet qui a eu le premier prix, dû à la collaboration de cinq fabriques de machines réunies de Bohême et de la maison Siemens-Schuckert, de Vienne, comporte un plan incliné de 900 m de longueur avec pente de 90 par mille à deux voies sur chacune desquelles se meut un sas métallique contenant le bateau. Chaque sas pèsera 2 900 t. La traction des sas se fera par l'électricité. La dépense prévue est de 6 400 000 f.

---

## ANNALES DES MINES

*Troisième livraison de 1905.*

**Statistique de l'industrie minérale de la France.** — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers en 1903 et 1904.

Il a été extrait, en 1904, 34 502 000 t de combustibles minéraux, dont 33 840 000 t de houille et anthracite et 664 000 t de lignites. Ce total est en diminution de 404 000 t en nombre rond, sur le total de 1903. En 1903, il y avait eu augmentation de 5 millions sur l'année 1902.

Le Nord et le Pas-de-Calais figurent dans la production pour un chiffre de 21 762 000 t, chiffre très légèrement supérieur à celui de 1903. Après eux viennent la Loire avec 3 603 000 t, le Gard avec 1 945 000 t et Saône-et-Loire avec 1 617 000 t.

Pour le lignite, le bassin du Fuveau a produit 552 800 t sur un total de 664 000 t; après vient le bassin de Manosque avec 51 000 t et le Gard avec 18 000 t.

La production totale de la fonte s'est élevée à 3 millions de tonnes en augmentation de 160 000 t sur l'année précédente. Sur ce total, on trouve 2 980 000 t de fonte au coke, 9 200 t de fonte au bois et 11 000 t de fonte mixte. La fonte en bois est en augmentation de près de 1 000 t sur le chiffre de 1903. Le département de Meurthe-et-Moselle figure dans le

total général pour 2 millions de tonnes, soit les deux tiers; sa production est en augmentation de 109 000 t sur celle de 1903. Après vient le Nord avec 818 008 t, le Pas-de-Calais qui a gagné un rang, avec 95 500 t, soit une augmentation de 14 000 t sur l'année précédente et Saône-et-Loire qui passe du troisième au quatrième rang avec 87 500 t, chiffre presque identique à celui de 1903.

La production du fer a été de 555 000 t, en diminution de 35 000 t sur 1903, année qui était elle-même en diminution sur 1902, où la production avait été de 640 000 t. Sur le total, on trouve 357 000 t de fer puddlé, 9 100 t de fer affiné au charbon de bois et 188 000 t de fer obtenu du réchauffage de vieux fers et riblons; le fer au bois est en légère augmentation sur 1903 et le fer de riblons en assez forte diminution 32 000 t. C'est toujours le Nord qui tient la tête avec 233 000 t; après viennent les Ardennes avec 82 000 t, la Haute-Marne 53 000 t. Le département de la Seine a produit 20 400 t de fer de riblons contre 31 000 t en 1903 38 000 t en 1902. La production des rails en fer n'est plus indiquée, elle était en 1903 de 123 t seulement.

La production d'aciers en lingots a été de 2 080 000 t en augmentation de 291 000 t sur l'année précédente. Sur ce total on trouve 1 335 000 t d'acier au convertisseur et 746 000 t d'acier au four Martin. La production des aciers ouvrés a été de 1 483 000 t en augmentation de 177 000 t en 1903; dans ce total figurent 246 400 t de rails et 300 000 t de tôles, le tout en forte augmentation sur l'année précédente.

Il a été fabriqué, en 1904, 3 470 t d'acier puddlé et de forge, 685 t d'acier cémenté. 12 200 t d'acier fondu au creuset et 10 500 t d'acier obtenu par réchauffage de vieil acier. La production de Meurthe-et-Moselle s'élève à 980 000 t de lingots contre 857 000 pour 1903; le Nord a produit 340 000 t, Saône-et-Loire 152 000 et la Loire 90 000 t; ces chiffres représentent une notable augmentation par rapport à l'année précédente.

**La formation charbonneuse supracrétacée des Balkans,** par M. L. de Launay, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'Ecole supérieure des Mines.

C'est le compte rendu d'une mission entreprise en septembre 1904, sur la demande du Ministre du Commerce et de l'Agriculture de Bulgarie, en vue d'étudier la nature, les relations réciproques et l'exploitabilité des gisements charbonneux reconnus dans les formations secondaires des Balkans, entre Trevna et Slivno.

Les conclusions sont que les charbons des Balkans forment des gisements irréguliers et discontinus d'un faible tonnage sur lesquels on ne saurait fonder une industrie importante. On peut toutefois les utiliser avantageusement dans un pays où les combustibles même n'abondent pas. Ce sont de véritables houilles contenant, en général, peu de soufre. L'exploitation serait facile et le prix de revient sur place assez bas, mais ce prix serait accru dans une grande proportion par le défaut actuel de moyens de transport. Quant aux débouchés, il ne faut pas compter sur la Bulgarie qui est un pays essentiellement agricole. Parmi les pays voisins, il n'y aurait guère que la Roumanie où les besoins de combustible sont importants, mais cette contrée est riche en pétrole et les rési-

dus tendent de plus en plus à se substituer à la houille. La question se présente donc avec d'assez grandes difficultés.

Note sur **une chaudière de locomotive à tubes d'eau** construite par M. Robert, Ingénieur en chef du matériel et de la traction du réseau algérien P.-L.-M., par M. Jacob, Ingénieur en chef des Mines.

La mauvaise qualité des eaux sur le réseau P.-L.-M. algérien a engagé notre Collègue, M. Robert, a chercher le remède dans l'adoption d'un type de chaudière mieux approprié aux conditions locales du service.

Le nouveau générateur a la forme extérieure des chaudières ordinaires de locomotive; il se compose de corps cylindriques réunis par des tubes vaporisateurs et des tubes de retour. Le foyer a son ciel formé par le dessous du corps supérieur et ses côtés par des tubes d'eau jointifs comme dans la chaudière Brotan, dont nous avons parlé dans la Chronique d'octobre 1904, page 524. Disons en passant que la chaudière Robert offre une solution beaucoup plus complète du problème que la chaudière autrichienne.

Le générateur dont nous parlons a 1,94 m² de surface de grille et 119,20 m² de surface de chauffe; il est timbré à 12,5 kg. Depuis sa mise en service, l'entretien a été à peu près nul. M. Robert a eu, on doit le dire. le mérite d'avoir montré que la réalisation d'un type de chaudières de locomotives entièrement à tubes d'eau était possible et avantageuse.

*Pour la Chronique et les Comptes rendus :*

A. Mallet.

# BIBLIOGRAPHIE

## IIIe SECTION

**L'énergie hydraulique et les récepteurs hydrauliques** (1), par M. Masoni.

Le programme de ce très intéressant ouvrage correspond à un enseignement unique qui, chez nous, à l'Ecole Centrale par exemple, fait l'objet de *deux* cours séparés, l'un préparant les études de l'autre.

Dans la *première partie*, M. Masoni expose les principes d'hydrodynamique qui seront nécessaires pour étudier et calculer les machines hydrauliques des deux grandes classes : récepteurs proprement dit et récepteurs *opérateurs* comme il appelle les pompes et les autres machines à mouvoir et à élever les liquides.

Cette première partie constitue donc une sorte de traité de mécanique appliquée, spécialement attribuée aux mouvements des liquides.

Suivent quelques exemples sommaires, pour fixer les idées quant aux applications.

Dans les *deuxième et troisième parties*, M. Masoni étudie en détails la construction des roues et des turbines hydrauliques au point de vue de leurs conditions théoriques d'établissement et aussi de leur construction usuelle.

Le chapitre des turbines y est largement développé, comme il convient à notre époque où la mise en valeur des hautes chutes d'eau naturelles appelle la compétence des ingénieurs d'une manière si intéressante.

Dans la *quatrième partie*, les premières questions traitées complètent celles des deuxième et troisième parties par les moteurs à eau *à pistons* qui sont encore des récepteurs moteurs, mais d'un usage plus restreint.

Viennent ensuite les pompes élévatoires et les béliers hydrauliques : mais la question des pompes centrifuges (ou turbines inverses) n'est pas mentionnée, bien que dans notre enseignement, en France, elle tienne sa place naturelle tant à côté des pompes rotatives proprement dites à pistons tournants qui sont volumétriques, qu'à côté des béliers qui sont aussi, comme les pompes centrifuges, des appareils à énergie cinétique.

L. Ribourt.

## IVe SECTION

**Le Microscope polarisant**, *guide pratique pour les études élémentaires de cristallographie et d'optique*, par le docteur F. Rinne, traduit et adapté aux notations françaises par M. L. Pervinquière (2) avec une préface de M. A. de Lapparent.

L'emploi du microscope polarisant dans l'étude des corps cristallisés,

(1) In-8°, 255 × 165 de iv-320 p. avec 207 fig. Paris, Gauthier-Villars, 1905. Prix : broché, 10 f.

(2) In-8°, 190 × 130 de vi-160 p. avec 212 fig. Paris, F.-R. de Rudeval, 1904. Prix broché : 5 f.

produits par le chimiste ou rencontrés dans la nature, a donné, au point de vue de leur détermination, des résultats fort remarquables, cependant il n'est pas encore aussi répandu qu'il devrait l'être, étant donnés ses avantages. Cela tient certainement à la façon trop savante dont les traités consacrés à ces études microscopiques les ont présentées. La méthode employée est basée en effet sur des connaissances d'optique physique qui ne sont guère données que dans les Facultés des Sciences ou dans les Écoles d'enseignement supérieur, parce qu'elles ne sont pas susceptibles d'application; les Ingénieurs, en particulier, ne les possèdent que rarement; il en résulte qu'il n'y a qu'un public fort restreint qui puisse suivre, facilement et sans se rebuter, les théories sur lesquelles s'appuient les études au microscope polarisant.

M. F. Rinne, Professeur à l'École technique supérieure de Hanovre, habitué à s'adresser à de futurs Ingénieurs, a pensé qu'il y aurait intérêt, au point de vue de la vulgarisation, à mettre en relief les phénomènes sur lesquels s'appuient les théories, sans exposer ces dernières, et à montrer le parti que l'on en peut tirer au point de vue pratique de la détermination des espèces. Il est parvenu à faire ainsi un ouvrage très simple et très clair, grâce auquel il est très facile d'apprendre à tirer parti du microscope polarisant. Pour faciliter les études des commençants le professeur Rinne termine son opuscule par l'indication d'exercices pratiques qui ont pour but d'initier à l'emploi du microscope.

M. L. Pervinquière a pensé, avec raison, que le public français aurait tout avantage à connaître le livre du professeur Rinne; il en a publié une traduction et, pour qu'elle fût de lecture plus facile, il a pris soin de transformer la notation des figures, faite dans l'édition allemande, d'après les systèmes de Weiss et de Naumann, en notations des systèmes de Miller et de Lévy dont nous avons l'habitude en France: c'est une œuvre, à coup sûr, fort méritoire dont nous devons le remercier.

J. Bergeron.

---

**Étude pratique des Roches**, par le docteur F. Rinne, traduit et adapté par M. L. Pervinquière (1), avec une préface de M. A. Lacroix.

Le second ouvrage publié par le professeur Rinne est plus important que le premier; il est également d'un plus grand intérêt, surtout pour des Ingénieurs. Au point de vue de l'exécution matérielle, les figures sont presque toutes des reproductions de photographies et beaucoup sont inédites. Le traducteur a su choisir, pour l'édition française, des clichés reproduisant des coupes géologiques de nos régions classiques ainsi que des roches bien connues et devenues typiques pour nous; il a fait une véritable œuvre d'adaptation. D'ailleurs, il semble qu'en certains chapitres M. Pervinquière ait tenu la plume pour son propre compte.

(1) In-8°, 190 × 130 de III-674 p. avec 257 fig. Paris, F.-R. de Rudeval, 1905. Prix broché : 12 f.

plus que comme traducteur; ces chapitres sont loin de faire tache dans l'excellent ouvrage du professeur Rinne.

Il serait trop long d'examiner chapitre par chapitre ce volume de plus de 600 pages; ce serait cependant la meilleure manière d'en montrer l'intérêt. Je me contenterai de signaler les paragraphes dans lesquels les Ingénieurs pourront trouver des renseignements qui leur seront utiles. Dans la première partie, consacrée aux généralités et aux méthodes, les chapitres concernant les dislocations des roches, les méthodes pour leur étude et leurs propriétés les plus importantes au point de vue technique, sont particulièrement bien traités. Dans la deuxième partie, l'auteur fait l'étude systématique des roches; il décrit successivement les roches éruptives, les roches sédimentaires et les roches cristallophylliennes; le paragraphe intitulé : Différenciation des magmas et mode de formation des roches éruptives, est un excellent résumé des théories actuellement en présence. L'étude particulière de chaque roche est suivie d'indications relatives à ses gisements, à ses propriétés physiques, à ses modes d'exploitation. Dans le chapitre consacré aux roches sédimentaires, il y a, dans le paragraphe concernant leur classification, de nombreux renseignements sur les roches employées dans les constructions, aussi bien que sur les minerais et les combustibles minéraux.

Le traité du professeur Rinne est à la fois l'œuvre d'un géologue et d'un technicien; mais comme l'auteur a su éviter le danger d'être ou trop géologue ou trop technicien, son ouvrage est un vrai modèle du genre. Une part des éloges doit revenir à M. L. Pervinquière comme traducteur et comme adaptateur, car il a puissamment contribué à l'intérêt que présente « l'Étude pratique des roches ».

J. Bergeron.

---

**Manuel de la ventilation des Mines**, par Jaroslav Jicinsky, Ingénieur, Directeur des mines de Rossitz (Autriche), traduit d'après la quatrième édition allemande, revu et augmenté, par le docteur L. Gautier (1).

M. le docteur L. Gautier, qui a déjà rendu tant de services aux Ingénieurs français en leur donnant la traduction des ouvrages techniques allemands de grande notoriété, a eu l'heureuse idée de traduire la quatrième édition du Manuel de la ventilation des Mines, de l'Ingénieur autrichien J. Jicinsky.

L'aérage des mines est une des opérations les plus importantes, quoique des moins connues, de l'exploitation des mines. En France, on s'est peu à peu habitué à demander la solution du problème de la ventilation aux constructeurs spéciaux; rares sont les ouvrages techniques traitant de la matière, et c'est à peine si l'on arrive à en citer deux : le travail déjà ancien de l'Ingénieur belge Devillez (2), et celui de M. P.

(1) In-8°, 250 × 160 de III-362 p., avec 254 fig. et 2 pl. Paris, Ch. Béranger, 1905. Prix, relié : 15 f.

(2) Devillez, Ventilation des Mines, Liège, 1875.

Petit (1), qui concerne plus spécialement les travaux préparatoires dans les mines grisouteuses.

Le Manuel de M. Jicinsky vient donc bien à point, et il sera d'autant mieux accueilli qu'il s'applique aux mines métalliques et aux charbonnages.

Avant d'aborder les complexes questions de l'aérage, l'auteur commence par étudier l'atmosphère des mines et tous les éléments qui contribuent à la vicier.

Le grisou fait l'objet d'une longue revue où sont résumés les résultats de toutes les études qui le concernent, ainsi que les moyens généralement adoptés pour prévenir ses effets ou les combattre : tirage des mines par l'électricité, emploi des explosifs de sûreté, des lampes de sûreté, des appareils respiratoires, sauvetage dans les incendies miniers, applications de la lampe grisoumétrique, etc.

M. L. Gautier a complété toutes ces données par des notes, des additions et des appendices ayant pour but de renvoyer le lecteur aux meilleurs ouvrages français relatifs à ces questions, et de mettre le texte en harmonie avec les principes de la réglementation minière adoptée en France.

En ce qui concerne les principes généraux de la ventilation, M. Jicinski accepte les théories françaises et belges de Guibal, Dewillez et Murgue. Pour caractériser et comparer entre eux les réseaux de conduites d'air qui constituent chaque mine, il adopte l'idée du *tempérament ou module* de la mine, $T = \frac{Q^2}{h}$, de Guibal, et la conception si ingénieuse de Murgue, de *l'orifice en mince paroi équivalent* à la résistance de la mine : $A = 0{,}38\frac{Q}{\sqrt{h}}$.

La ventilation naturelle, si communément adaptée aux mines métalliques, est traitée avec soin, quoique peut-être un peu brièvement. Quant à la ventilation mécanique, elle est étudiée minutieusement sous toutes ses formes et en tous ses détails d'application.

Les ventilateurs les plus connus en Allemagne et en Autriche sont ceux de Guibal, Rittinger, Kley, Pelzer, Geisler, Schiele, Ser, Winter, Moritz, Capell, Rateau, Mortier, Davidson.

Il est difficile de dire le meilleur, et M. Jicinsky s'en abstient justement, mais il montre comment les conditions particulières de l'aérage peuvent indiquer une préférence pour tel ou tel d'entre eux.

Le système de ventilation varie selon qu'on dispose, soit de puits jumeaux pour l'extraction et l'aérage *(ventilation centrale)*, soit de puits éloignés *(ventilation diagonale)*.

Si l'installation des puits n'est pas terminée, la ventilation s'applique aux travaux préparatoires : *fonçage de puits, percement de galeries en travers-bancs, attaque au moyen de cheminées ou de descenderies*, etc., par courants partiels ou par un courant général.

Les détails d'une organisation d'aérage dans une mine sont étudiés

(1) P. Petit, Aérage des travaux préparatoires dans les mines à grisou, *Congrès international des Mines*, Paris, 1900.

avec une grande précision : plans d'aérage, profils et schémas d'aérage, dispositifs mécaniques spéciaux, tuyauterie, cloisons, barrages, portes d'aérage, etc. Et ces renseignements suffiront à l'Ingénieur pour établir un avant-projet complet et discuter utilement les conditions de la ventilation avec les constructeurs d'appareils mécaniques.

Bref, l'ouvrage de M. Jicinsky, traduit et complété avec une réelle compétence par M. L. Gautier, est appelé à devenir un guide précieux pour tous les Ingénieurs et exploitants de mines.

P. Chalon.

---

## Ve SECTION

**Marseille au XXe siècle**, étude historique et statistique (1) par Émile Camau.

Cet ouvrage très considérable, qui porte pour épigraphe cette observation fort juste : « Ce sont les hommes et non les murs qui font la cité », constitue, comme le sous-titre l'indique, une étude très complète de la situation industrielle et commerciale de Marseille de nos jours.

L'importance de la question peut s'apprécier par celle même de la ville dont la population se chiffre par 500 000 habitants, sur lesquels on compte près de 100 000 étrangers dont 92 000 Italiens; on peut mesurer l'accroissement considérable de cette population par le fait que, comptant un peu moins de 100 000 âmes au début du siècle, elle était de 195 000 en 1851 et de 360 000 en 1881.

L'ouvrage dont nous nous occupons comprend cinq parties subdivisées chacune en plusieurs chapitres.

La première partie traite de la ville et de sa population. On y trouve des détails très complets sur le mouvement de la population de 1885 à 1903, avec de nombreux tableaux statistiques relatifs à la division de la population par nationalités, par profession, etc., sur l'alimentation, les consommations des diverses denrées, etc. Un chapitre étudie les rues et maisons, le régime des eaux, l'éclairage public et privé, les moyens de communication, le service des incendies; un autre les écoles et établissements d'enseignement, les musées et collections, la justice civile. Un quatrième chapitre a pour objet la justice et les institutions commerciales, un cinquième les finances et les administrations publiques, octroi, contributions, enregistrement, douane, postes et télégraphes, et, un dernier, les institutions charitables, assistance, hôpitaux, hospices, bureau de bienfaisance, mont-de-piété, sociétés de secours mutuels, etc.

La deuxième partie a pour titre général les gares et les ports; elle a un caractère en grande partie technique; les six chapitres entre lesquels elle se divise traitent des gares, des mesures et travaux de protection des ports, de l'ancien et des nouveaux ports, des aménagements et de l'outillage des ports, des nouveaux travaux et du mouvement de la navigation, des marchandises et des passagers. Ce dernier chapitre contient des développements du plus haut intérêt sur lesquels nous regrettons de ne pouvoir nous arrêter. Il nous suffira d'indiquer que le mouvement

(1) In-8°, 280 × 190, de xx-1006 pages, Paris, Guillaumin et Cie; Marseille, Paul Ruat, 1905. Prix : broché, 15 f.

total des marchandises importation et exportation, par mer, a été, pour 1902, de 5 124 000 t dont un peu plus de la moitié par navires étrangers et le mouvement des voyageurs, également par mer, pour la même année 1902, de 329 000.

La troisième partie est intitulée : navigation, commerce, industrie. Elle traite, dans ses six chapitres, des diverses Compagnies de navigation qui fréquentent le port de Marseille, du commerce et de ses subdivisions; disons en passant qu'en 1903, Marseille a importé 1 900 000 animaux de boucherie dont 1 630 000 moutons et en a exporté 1 120 000 dont 1 025 000 moutons; on trouve ensuite des documents sur la grande industrie, allumettes, huileries, savonneries, produits chimiques, etc., sur l'industrie alimentaire, minoterie, pâtes et semoules, riz, sucre, chocolat, vermouth, et boissons diverses etc., et sur les industries diverses, et enfin sur les industries d'art qui occupent à Marseille une place assez importante.

La quatrième partie s'occupe des ports concurrents, tels que : Bordeaux, le Havre et Dunkerque en France, et des ports étrangers : Gênes, Anvers et Hambourg; elle donne les éléments principaux de ces ports, leur population, leur mouvement, leur développement, et les causes qui en font des concurrents dangereux pour notre grand port de la Méditerranée.

La cinquième et dernière partie traite des améliorations et réformes qui s'imposent pour défendre la prospérité de Marseille; nous citons les titres des divers chapitres : insécurité et vexations, nécessité d'un port franc, la marine marchande, voies et moyens de communication, expansion coloniale et transformation du port de Marseille. Il est à peine besoin d'insister sur l'intérêt de cette dernière partie, qui est la conclusion logique et pratique des autres, et montre l'insuffisance de ce qui existe et la nécessité de prendre des mesures énergiques et promptes pour relever Marseille de son infériorité actuelle, qui peut se définir par ces mots : En 1885, Marseille venait avant Hambourg, Anvers et Gênes, en 1890, ce port est au troisième rang, passant après Hambourg et Anvers, et il est menacé de perdre prochainement ce troisième rang au profit de Gênes.

Nous regrettons vivement de n'avoir pu qu'indiquer les sujets traités par l'auteur dans cet important travail, il est vrai que cette simple énonciation suffit à en montrer l'intérêt; nous ajouterons que sa valeur a été appréciée, car la ville de Marseille a décerné à l'auteur le prix fondé par le baron de Beaujour en 1831 pour récompenser l'auteur du meilleur travail concernant la situation commerciale et industrielle de Marseille, prix qui n'avait pas été décerné depuis quinze ans.

A. MALLET.

---

**Radioactivité**, par J. DANIEL (1).

L'ouvrage de M. Daniel est une monographie complète de cette nouvelle découverte si passionnante de la radioactivité. Ce livre sera pré-

(1) In-8°, 240 × 160 de 119 p. avec 40 fig. Paris, V<sup>ve</sup> Ch. Dunod, 1905. Prix broché : 3,50 f.

cieux pour ceux qui veulent étudier à fond la question, non seulement parce qu'ils y trouveront à peu près tout ce qui peut-être dit sur ce sujet à l'heure actuelle, mais encore parce que l'auteur a eu soin de citer tous les documents qui se rapportent à la question.

Le chapitre premier est consacré à l'historique. Les chapitres suivants traitent des propriétés du radium, de l'énergie dégagée par les substances radioactives, de l'émanation, de la radioactivité induite.

Nous signalerons particulièrement les deux derniers chapitres, Celui qui a trait à l'action du radium, sur les organismes vivants, chapitre très développé au point de vue des expériences citées et des appareils décrits, et le dernier « Origine de l'énergie dégagée par les substances radioactives », dans lequel l'auteur passe en revue toutes les opinions émises sur la constitution de la matière.

E. F.

---

**Causeries sur le Radium et les nouvelles radiations,**
par Georges Claude (1).

Ces nouvelles découvertes, d'une si considérable importance, et si grosses de conséquences pour l'avenir, sont rendues compréhensibles à tout le monde par le style simple et clair de l'auteur et par ses heureuses comparaisons.

Dans le chapitre premier, l'assimilation classique de l'Électricité à l'Hydraulique, poussée par M. Claude jusqu'à ses extrêmes limites, amène le lecteur à comprendre sans efforts les phénomènes de haute fréquence, la production des ondes hertziennes et la télégraphie sans fil.

Le chapitre II traite des tubes de Crookes et des rayons cathodiques pour arriver aux rayons X et à la radiographie.

Enfin, le chapitre III est un exposé très complet des découvertes de M. Becquerel, de M. et de Mme Curie sur les corps radioactifs et la radioactivité, avec un aperçu des idées nouvelles qui, grâce aux surprenantes propriétés du radium, se font jour actuellement sur la constitution de la matière.

En résumé, c'est là un excellent ouvrage de vulgarisation, recommandable pour tous ceux qui n'ont pu suivre pas à pas, dans les publications spéciales, les progrès scientifiques de ces dernières années.

E. F.

(1) In-8°, 255 × 165 de 132 p. avec 44 fig. Paris, Vve Ch. Dunod, 1905. Prix broché : 3 f.

# TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

## DANS LA CHRONIQUE DU 1er SEMESTRE, ANNÉE 1905

*(Bulletins de janvier à juin.)*

---

---

# TABLE DES MATIÈRES

## TRAITÉES DANS LE PREMIER SEMESTRE DE L'ANNÉE 1905

*(Bulletins de janvier à juin)*

---

## ADMISSION DE NOUVEAUX MEMBRES



## AVIATION ET NAVIGATION AÉRIENNE



## BIBLIOGRAPHIE

## CHIMIE INDUSTRIELLE



## CHRONIQUE

Voir : *Table spéciale des matières.*

## COMPTES RENDUS



## CONCOURS

## CONGRÈS



## CONSTRUCTIONS CIVILES



## DÉCÈS

## DÉCORATIONS FRANÇAISES

Commandeur de la Légion d'honneur : M. P.-A.-F. Jacquemart.

Officiers de la Légion d'honneur : MM. P.-L. Barbier, H.-A. Deroy, A. Mallet, Ed. Michaud, J.-J. Pillet.

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. P. Chalon, A. Chélu-Bey, A.-H. Esnault-Pelterie, H.-J. Girard, J.-N. Jacques, A.-T. Kreiss, L. Périssé, J.-C. Durey, J. Richard, L.-A. Tissot.

Officiers de l'Instruction publique : MM. A.-A. Bouline, L. Duvignau de Lanneau, A. Lindeboom, A. Rouart, L.-G. Worms, H. Dufresne.

Officiers d'Académie : MM. A. Algrin, L. Baudoux-Chesnon, A. du Beaufret, E. Dufournel, P.-M. Flicoteaux, Ch. Gallois, L.-H. Godard-Desmarest, X. Laprade, M. Lonquéty, P.-E. Marchand, G. Meyer, Ch.-P. Milandre, I. Reiss, G. Romieu, F. Sauvaget, E. Collon, A.-A. Deguy, G.-H. Gin, E.-L. Lapersonne, F.-E. Lemaire, G. Lesourd, P. Medebielle, J. Robelet, P.-A. Schuhler, L. Monnier, A. Contrestin, A. Lecomte, A. Collet, E. Bricq.

Officiers du Mérite agricole : MM. P.-A. Guion, A. Lecomte.

Chevaliers du Mérite agricole : MM. A. Butin, Ch. Driessens, Ph. Gourdon, E. Vuillaume, G.-L. Gauthier, E. Huber, H. Luchaire, M. Richard, E. Surcouf, H.-C. de Thermeau, G.-L. Maris.

## DÉCORATIONS ÉTRANGÈRES

Chevaliers de François-Joseph : MM. A. Darracq, M. Richard, A. Lecomte.

Commandeur du Medjidié : M. A. Scala.

Commandeur de l'Osmanieh : M. L.-A. Schroeder.

Officier du Nicham-Iftikar : M. A. de Gennes.

Grand-Croix du Dragon d'Annam : M. H. Daydé.

Commandeur du Dragon d'Annam : M. A. Pillé.

Officier du Dragon d'Annam : M. H. Faucher.



## DIVERS

## DONS ET LEGS



## EXPOSITIONS



## ÉLECTRICITÉ



## GÉNÉRATEURS ET MACHINES A VAPEUR



## HYGIÈNE

## LÉGISLATION



## MÉCANIQUE



## MÉTALLURGIE



## NAVIGATION



## NÉCROLOGIE

## NOMINATIONS



## OUVRAGES, MÉMOIRES ET MANUSCRITS REÇUS



## PHYSIQUE



## PLANCHES

**Nos 102 à 111.**

## PRIX ET RÉCOMPENSES



## TRANSPORTS



## TRAVAUX PUBLICS

# TABLE ALPHABÉTIQUE

PAR

## NOMS D'AUTEURS

DES MÉMOIRES INSÉRÉS DANS LE 1er SEMESTRE, ANNÉE 1905.

*(Bulletins de janvier à juin.)*

---

---

*Le Secrétaire Administratif, Gérant,*

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 12324-6-05. — (Encre Lorilleux).




L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

